

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003 年 7 月 31 日 (31.07.2003)

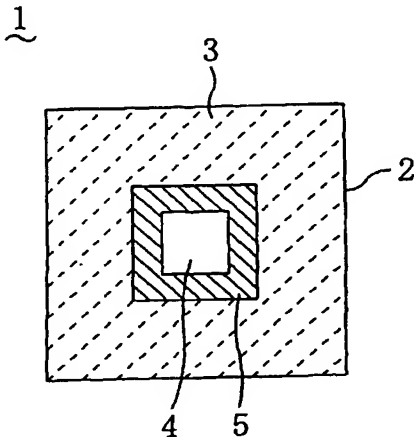
PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/062923 A1

- (51) 国際特許分類: G03F 1/08, H01L 21/027 (74) 代理人: 前田 弘, 外(MAEDA, Hiroshi et al.); 〒550-0004 大阪府 大阪市 西区靱本町 1 丁目 4 番 8 号 太平ビル Osaka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/13466
- (22) 国際出願日: 2002 年 12 月 24 日 (24.12.2002) (81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2001-393289
2001 年 12 月 26 日 (26.12.2001) JP
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
— 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府 門真市 大字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP).
- 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 三坂 章夫 (MISAKA, Akio) [JP/JP]; 〒564-0004 大阪府 吹田市 原町 4-2 8-5-6 0 2 Osaka (JP).

(54) Title: PHOTOMASK, METHOD OF PRODUCING IT AND PATTERN FORMING METHOD USING THE PHOTOMASK

(54) 発明の名称: フォトマスク、その作成方法及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法



(57) Abstract: A mask pattern, provided on a transmitting substrate (2), comprises a semi-light-shielding portion (3) for passing an exposure light in phase with a translucent portion (4) as a reference, and a phase shifter (5) for passing an exposure light in opposite phase with the translucent portion (4) as a reference. The semi-light-shielding portion (3) has a transmittance to allow exposure light to pass partially. The phase shifter (5) is provided at a position capable of partially canceling, by its transmitted light, light passed through the translucent portion (4) and the semi-light-shielding portion (3).

WO 03/062923 A1

[続葉有]

BEST AVAILABLE COPY



(57) 要約:

透過性基板 2 上に設けられるマスクパターンは、透光部 4 を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光部 3 と、透光部 4 を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフター 5 とから構成される。半遮光部 3 は、露光光を部分的に透過させる透過率を有する。位相シフター 5 は、その透過光によって、透光部 4 及び半遮光部 3 を透過した光の一部を打ち消すことができる位置に設けられている。

明細書

フォトマスク、その作成方法及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法

技術分野

本発明は、半導体集積回路装置の製造に用いられる微細パターン形成用のフォトマスク、その作成方法及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法に関する。

背景技術

近年、半導体を用いて実現する大規模集積回路装置（以下、LSIと称する）の高集積化のために、回路パターンの微細化がますます必要となってきた。その結果、回路を構成する配線パターンの細線化、又は絶縁層を介して多層化された配線同士をつなぐコンタクトホールパターン（以下、コンタクトパターンと称する）の微細化が非常に重要となってきた。

以下、従来の光露光システムによる配線パターンの細線化及びコンタクトパターンの微細化について、ポジ型レジストプロセスを用いて説明する。ここで、ラインパターンとは、レジスト膜における露光光によって感光されない部分、つまり現像後に残存するレジスト部分（レジストパターン）である。また、スペースパターンとは、レジスト膜における露光光によって感光される部分、つまり現像によりレジストが除去されてなる開口部分（レジスト除去パターン）である。また、コンタクトパターンとは、レジスト膜における現像によりホール状に除去される部分であり、スペースパターンのうち特に微小なものと考えればよい。尚、ポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いる場合、前述のラインパターン及びスペースパターンのそれぞれの定義を入れ替えればよい。

〈第1の従来例〉

従来の細線パターンの形成方法として、マスクパターンによって生じる光強度分布のコントラストを位相シフターによって強調して微細幅のラインパターンを形成する方法が提案されている（例えば、H. Y. L i uほか、P r o c. S P I E 、 V o l. 3 3 3 4、P. 2（1998））。

以下、位相シフターを用いた従来のラインパターンの形成方法について、図面を参照しながら説明する。

図28（a）は、形成対象となる所望のパターン（レジストパターン）のレイアウトの一例を示している。図28（a）に示すように、パターン800は、所定寸法以下の部分パターン800aを有している。

図28（b）及び図28（c）は、図28（a）に示すパターンを形成するために用いられる、従来の2枚のフォトマスクの平面図を示している。図28（b）に示すように、第1のフォトマスク810においては、透過性基板811上に完全遮光膜812（露光光の透過率がほぼ0%）が形成されている。また、完全遮光膜812に、透光部となる第1の開口部813及び位相シフターとなる第2の開口部814が、部分パターン800aを形成するための遮光パターン812aを挟んで設けられている。この位相シフターとなる第2の開口部814は、透光部となる第1の開口部813を基準として180度の位相差が生じるように露光光を透過させる。また、図28（c）に示すように、第2のフォトマスク820においては、透過性基板821上に、第1のフォトマスク810の遮光パターン812aとの組み合わせによって、所望のパターン800（図28（a）参照）を形成するための遮光パターン822が形成されている。

図28（b）及び図28（c）に示す2枚のフォトマスクを用いたパターン形成方法は次の通りである。まず、第1のフォトマスク810を用いて、ポジ型レジストよりなるレジスト膜が塗布された基板に対して露光を行なう。その後、図28（a）に示すパターン800が形成されるように第2のフォトマスク820の位置合わせを行なった後、第2のフォトマスク820を用いて露光を行う。そ

の後、レジスト膜を現像することによって、図28(a)に示すようなレジストパターンを形成することができる。このとき、第1のフォトマスク810のみを用いた露光だけでは残存してしまう余分なパターン（パターン800以外の他のパターン）を、第2のフォトマスク820を用いた露光により除去することができる。その結果、第2のフォトマスク820のみを用いた露光によっては形成することができない微小幅の部分パターン800aを形成することができる。

この方法において、透光部と位相シフターとが、所定寸法以下の完全遮光膜よりなるパターン（つまり遮光パターン）を挟んで配置されている場合、透光部（開口部）及び位相シフターのそれぞれを透過して遮光パターンの裏側に回折した光が互いに打ち消し合うので、遮光パターンの遮光性を向上させることができるので、所定寸法以下のラインパターンを形成することができる。

〈第2の従来例〉

従来の微小コンタクトパターンの形成方法として、ハーフトーン位相シフトマスクを用いた方法が提案されている。このハーフトーン位相シフトマスクにおいては、コンタクトパターンと対応する透光部（位相シフター中の開口部）が設けられている。また、遮光部として、露光光に対して低透過率（3～6%程度）を有し且つ開口部を透過する光を基準として180度の反対位相で光を透過させる位相シフターが設けられている。

以下、ハーフトーン位相シフトマスクによるパターン形成方法の原理について図29(a)～(g)を参照しながら説明する。

図29(a)は、マスク表面に設けられた完全遮光部となるクロム膜にコンタクトパターンと対応する開口部が設けられてなるフォトマスクの平面図であり、図29(b)は、図29(a)に示すフォトマスクを透過して被露光材料上における線分AA'と対応する位置に転写される光の振幅強度を示している。図29(c)は、マスク表面に設けられた位相シフターにコンタクトパターンと対応するクロム膜が完全遮光部として設けられてなるフォトマスクの平面図であり、図

図 29 (d) は、図 29 (c) に示すフォトマスクを透過して被露光材料上における線分 AA' と対応する位置に転写される光の振幅強度を示している。図 29 (e) は、マスク表面に設けられた遮光部となる位相シフターにコンタクトパターンと対応する開口部が設けられてなるフォトマスク（つまりハーフトーン位相シフトマスク）の平面図であり、図 29 (f) 及び図 29 (g) はそれぞれ、図 29 (e) に示すフォトマスクを透過して被露光材料上における線分 AA' と対応する位置に転写される光の振幅強度及び光強度を示している。

図 29 (b)、図 29 (d) 及び図 29 (f) に示すように、図 29 (e) に示すハーフトーン位相シフトマスクを透過した光の振幅強度は、図 29 (a) 及び図 29 (c) のそれぞれに示すフォトマスクを透過した光の振幅強度の和になっている。すなわち、図 29 (e) に示すハーフトーン位相シフトマスクにおいては、遮光部となる位相シフターは、露光光の一部を透過させるだけではなく、該位相シフターを透過する光に、開口部を通過する光を基準として 180 度の位相差を与えるように形成されている。このため、図 29 (b) 及び図 29 (d) に示すように、位相シフターを透過する光は、開口部を透過する光に対して反対位相の振幅強度分布を有するので、図 29 (b) に示す振幅強度分布と図 29 (d) に示す振幅強度分布とを合成すると、図 29 (f) に示すように、位相変化により振幅強度が 0 となる位相境界が発生する。その結果、図 29 (g) に示すように、位相境界となる開口部の端（以下、位相端と称する）では、振幅強度の 2 乗で表される光強度も 0 となって強い暗部が形成される。従って、図 29 (e) に示すハーフトーン位相シフトマスクを透過した光の像においては、開口部周辺で非常に強いコントラストが実現されるので、微小コンタクトパターンを形成することができる。

ここで、本明細書において露光に使用する露光光源について説明する。図 30 (a) ~ (c) は、従来から用いられている露光光源の形状を示す図である。図 30 (a) に示すような通常露光光源に対して、斜入射露光光源とは、フォトマ

スクにおける光源中心と対応する部分に垂直に入射する光成分が取り除かれた、図30(b)又は図30(c)に示すような光源のことを意味する。代表的な斜入射露光光源としては、図30(b)に示す輪帯露光光源、及び図30(c)に示す四重極露光光源がある。目的のパターンに若干依存するが、一般に、輪帯露光光源よりも四重極露光光源の方がコントラストの強調又は焦点深度(DOF)の拡大において効果的である。

しかしながら、第1の従来例のようなパターン形成方法においては、下記のような課題があった。

(1) 透光部と位相シフターとの間に遮光パターンを挟むことによって、遮光パターンと対応する遮光像のコントラストを向上させるためには、透光部と位相シフターとが所定の寸法以下の間隔で隣り合っていないなければならない。一方、フォトマスク上で透光部と位相シフターとが遮光パターンを間に挟まずに配置された場合には、透光部と位相シフターとの境界に対応した遮光像が形成されてしまう。そのため、図28(b)に示すような第1のフォトマスクのみによって任意の形状のパターンを形成することができないので、通常のLSIのパターンレイアウト等の様に複雑な形状を有するパターンを作成するためには、図28(b)に示すような第1のフォトマスクに加えて、図28(c)に示すような第2のフォトマスクを用いた露光が必須となる。その結果、マスク費用が増大すると共に、リソグラフィにおける工程数の増加に起因してスループットが低下したり又は製造コストが増大する。

(2) 形成対象となる所望のパターン(レジストパターン)が複雑なパターン形状(例えば所定寸法以下のT字状)の場合、遮光パターンの全体を、互いに反対位相となる透光部と位相シフターとの間だけに設けることができないので、例えばT字状の遮光パターンの遮光性を向上させることができない。従って、位相シフターの効果を利用できるパターンレイアウトは制限される。

また、第2の従来例のようなパターン形成方法においては、下記のような課題

があった。

(3) ハーフトーン位相シフトマスクによっては、孤立配置された孤立コンタクトパターンの形成と蜜に配置された密集コンタクトパターンの形成とを同一露光源を用いた露光により同時に且つ満足できる仕上がりで行なうことが困難である。同様に、孤立配置された孤立ラインパターンの形成と蜜に配置された密集ラインパターンの形成とを同一露光源を用いた露光により同時に且つ満足できる仕上がりで行なうことも困難である。すなわち、孤立コンタクトパターンを形成する場合、マスクに対して垂直に入射する垂直入射成分だけの照明を行なうための干渉度0.5以下程度の小さな光源(図30(a)参照)を用いて垂直入射露光を行なうことによって、コントラストの向上及び高い焦点深度を実現することができる。しかしながら、垂直入射露光により密集コンタクトパターンを形成しようとすると、コントラスト及び焦点深度が著しく悪化する。一方、密集コンタクトパターンを形成する場合、マスクに対して斜めに入射する斜入射成分だけの照明を行なうための光源、例えば垂直入射成分(光源中心からの照明成分)を取り除いた輪帯照明を行なうための光源(図30(b)参照)を用いて斜入射露光を行なうことによって、コントラストの向上及び高い焦点深度を実現することができる。しかしながら、斜入射露光により孤立コンタクトパターンを形成しようとすると、コントラスト及び焦点深度が著しく悪化する。

(4) ハーフトーン位相シフトマスクによっては、孤立スペースパターンの形成と孤立ラインパターンの形成とを同時に且つ満足できる仕上がりで行なうことが困難である。すなわち、孤立スペースパターンを形成する場合、垂直入射露光を行なうことによって、コントラストの向上及び高い焦点深度を実現することができる。しかしながら、垂直入射露光により孤立ラインパターンを形成しようとすると、コントラスト及び焦点深度が著しく悪化する。一方、孤立ラインパターンを形成する場合、斜入射露光を行なうことによって、コントラストの向上及び高い焦点深度を実現することができる。しかしながら、斜入射露光により孤立ス

ースパターンを形成しようとする、コントラスト及び焦点深度が著しく悪化する。このように、ハーフトーン位相シフトマスクを用いた場合、孤立スペースパターン（孤立コンタクトパターンも含む）に対する最適照明条件と、密集スペースパターン（密集コンタクトパターンも含む）又は孤立ラインパターンに対する最適照明条件とは相反関係にある。このため、同一照明条件によって、孤立スペースパターンの形成と、孤立ラインパターンの形成又は密集スペースパターンの形成とを同時に且つ最適な仕上がりで行なうことが困難である。

発明の開示

前記に鑑み、本発明は、パターンの形状又は密集度合いに依存することなく、同一の露光条件で微細パターンを形成できるフォトマスク、その作成方法及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法を提供することを目的とする。

前記の目的を達成するために、本発明に係るフォトマスクは、露光光に対して透光性を有する透過性基板上に、露光光に対して遮光性を有するマスクパターンと、透過性基板におけるマスクパターンが形成されていない透光部とが設けられたフォトマスクを前提とし、マスクパターンは、透光部を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光部と、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターとから構成されており、半遮光部は、露光光を部分的に透過させる透過率を有し、位相シフターは、該位相シフターを透過した光によって、透光部及び半遮光部を透過した光の一部分を打ち消すことができる位置に設けられている。

本発明のフォトマスクによると、マスクパターンが半遮光部と位相シフターとから構成されており、位相シフターを透過した光によって透光部及び半遮光部を透過した光の一部分を打ち消すことができるように位相シフターが配置されている。このため、マスクパターンと対応する遮光像における光強度分布のコントラストを強調できるので、パターンの形状又は密集度合いに依存することなく、同

一の露光条件で微細パターンを形成することができる。

本発明のフォトマスクにおいて、露光光に対する半遮光部の透過率は15%以下であることが好ましい。

このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り防止又はレジスト感度の最適化を達成できる。特に、露光光に対する半遮光部の透過率が6%以上で且つ15%以下であると、DOF（焦点深度）又はコントラストの向上と、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り防止又はレジスト感度の最適化とを両立させることができる。

本発明のフォトマスクにおいて、半遮光部は、透光部を基準として露光光を、 $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差で透過させると共に、位相シフターは、透光部を基準として露光光を、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差で透過させてもよい。すなわち、本明細書においては、 $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差は同位相とみなし、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差は反対位相とみなす。

本発明のフォトマスクにおいて、位相シフターは、マスクパターンにおける透光部との境界から $(0.8 \times \lambda / NA) \times M$ 以下の部分に配置されている（但し、 λ は露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）ことが好ましい。。

このようにすると、パターン形成における露光マージンが向上する。

本発明のフォトマスクにおいて、マスクパターンが透光部を囲むように設けられおり、且つ位相シフターがマスクパターンにおける透光部の近傍に設けられている場合、位相シフターの幅は $(0.3 \times \lambda / NA) \times M$ 以下である（但し、 λ は露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）ことが好ましい。

このようにすると、パターン形成におけるフォーカスマージンが向上する。但し、位相シフターの幅は、位相シフターとしての光学的な作用が得られる ($0.1 \times \lambda / NA$) $\times M$ 以上であることが好ましい。

本発明のフォトマスクにおいて、マスクパターンは透光部を囲むように設けられ、位相シフターは、マスクパターンにおける透光部の近傍に、半遮光部と透光部とによって挟まれるように設けられていることが好ましい。

このようにすると、透光部を透過した光の像の周辺部における光強度分布のコントラストを強調できる。

本発明のフォトマスクにおいて、マスクパターンは透光部を囲むように設けられ、位相シフターは、マスクパターンにおける透光部の近傍に、半遮光部によって囲まれるように設けられていることが好ましい。

このようにすると、透光部を透過した光の像の周辺部における光強度分布のコントラストを強調できると共に、マスク寸法誤差によって光強度分布が影響を受けにくくなる。

本発明のフォトマスクにおいて、マスクパターンは透光部によって囲まれており、位相シフターは半遮光部によって囲まれていることが好ましい。

このようにすると、マスクパターンと対応する遮光像の中心部における光強度分布のコントラストを強調できる。また、この場合、マスクパターンの幅が ($0.8 \times \lambda / NA$) $\times M$ 以下である (但し、 λ は露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である) と、前述の効果が確実に得られる。また、この場合、位相シフターの幅が ($0.4 \times \lambda / NA$) $\times M$ 以下であると、パターン形成における露光マージンがより一層向上する。さらに、この場合、位相シフターの幅が ($0.1 \times \lambda / NA$) $\times M$ 以上で且つ ($0.4 \times \lambda / NA$) $\times M$ 以下であると、露光マージン及び DOF が同時に向上する。

本発明のフォトマスクにおいて、マスクパターンは、透光部によって囲まれた

ライン状パターンであり、位相シフターは、マスクパターンのライン幅方向における中央部に、半遮光部によって挟まれるように設けられていることが好ましい。

このようにすると、マスクパターンと対応するライン状の遮光像の中心部における光強度分布のコントラストを強調できる。また、この場合、マスクパターンの幅が $(0.8 \times \lambda / NA) \times M$ 以下である（但し、 λ は露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）と、前述の効果が確実に得られる。また、この場合、位相シフターの幅が $(0.4 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であると、パターン形成における露光マージンがより一層向上する。さらに、この場合、位相シフターの幅が $(0.1 \times \lambda / NA) \times M$ 以上で且つ $(0.4 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であると、露光マージン及び DOF が同時に向上する。

本発明のフォトマスクにおいて、マスクパターンは、透光部によって囲まれたライン状パターンであり、位相シフターは、少なくともマスクパターンのライン幅方向における両端部にそれぞれ、半遮光部を挟むように設けられていることが好ましい。

このようにすると、マスクパターンと対応する遮光像の輪郭部における光強度分布のコントラストを強調できる。

本発明のフォトマスクにおいて、マスクパターンは、透光部によって囲まれたライン状パターンであり、位相シフターは、マスクパターンのライン幅方向における両端部及び中央部にそれぞれ、半遮光部を挟むように設けられていることが好ましい。

このようにすると、マスクパターンと対応する遮光像の輪郭部における光強度分布のコントラストを強調できる。また、半遮光部の利用に起因して、遮光像の中心部にサイドローブが発生することを防止できる。また、この場合、マスクパターンの幅が $(\lambda / NA) \times M$ 以下である（但し、 λ は露光光の波長であり、 N

A及びMはそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である)と、前述の効果が確実に得られる。さらに、この場合、位相シフターの幅が $(0.3 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であると、パターン形成におけるフォーカスマージンがより一層向上する。

本発明のフォトマスクにおいて、マスクパターンは、透光部によって囲まれたライン状パターンであり、位相シフターは、マスクパターンのライン幅方向の両端部にそれぞれ、半遮光部によって囲まれるように設けられていることが好ましい。

このようにすると、マスクパターンと対応する遮光像の輪郭部における光強度分布のコントラストを強調できると共に、マスク寸法誤差によって光強度分布が影響を受けにくくなる。

本発明のフォトマスクにおいて、マスクパターンは、透光部によって囲まれたライン状パターンであり、位相シフターは、マスクパターンのライン幅方向の両端部及び中央部にそれぞれ、半遮光部によって囲まれるように設けられていることが好ましい。

このようにすると、マスクパターンと対応する遮光像の輪郭部における光強度分布のコントラストを強調できると共に、マスク寸法誤差によって光強度分布が影響を受けにくくなる。また、半遮光部の利用に起因して、遮光像の中心部にサイドローブが発生することを防止できる。

本発明のフォトマスクにおいて、透光部は、第1の透光部と第2の透光部とを有し、マスクパターンは、第1の透光部及び第2の透光部を囲むように設けられており、位相シフターは、第1の透光部と第2の透光部との間の中央部に設けられており、半遮光部は、位相シフターの両側に設けられていることが好ましい。

このようにすると、マスクパターンにおける一对の透光部に挟まれた部分と対応する遮光像の中心部における光強度分布のコントラストを強調できる。また、この場合、第1の透光部と第2の透光部との間隔が $(0.8 \times \lambda / NA) \times M$ 以

下である（但し、 λ は露光光の波長であり、NA及びMはそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）と、前述の効果が確実に得られる。また、この場合、位相シフターの幅が $(0.4 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であると、パターン形成における露光マージンが向上する。さらに、この場合、位相シフターの幅が $(0.1 \times \lambda / NA) \times M$ 以上で且つ $(0.4 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であると、露光マージン及びDOFが同時に向上する。

本発明に係るパターン形成方法は、本発明のフォトマスクを用いたパターン形成方法を前提とし、基板上にレジスト膜を形成する工程と、レジスト膜にフォトマスクを介して露光光を照射する工程と、露光光を照射されたレジスト膜を現像して、レジストパターンを形成する工程とを備えている。

本発明のパターン形成方法によると、本発明のフォトマスクと同様の効果が得られる。また、本発明のパターン形成方法において、露光光を照射する工程で斜入射照明法を用いることが好ましい。このようにすると、フォトマスクを透過した光の光強度分布において、マスクパターン及び透光部のそれぞれと対応する部分の間でのコントラストが向上する。また、光強度分布のフォーカス特性も向上する。従って、パターン形成における露光マージン及びフォーカスマージンが向上する。

本発明に係る第1のマスクデータ作成方法は、本発明のフォトマスクのマスクデータ作成方法を前提とし、フォトマスクを用いて形成しようとするパターンに基づいてマスクパターンの形状を決定すると共に半遮光部の透過率を設定する第1の工程と、第1の工程よりも後に、マスクパターンにおける所定の寸法以下で透光部に挟まれた領域を抽出する第2の工程と、第2の工程よりも後に、抽出された領域及びマスクパターンにおける透光部の近傍に位相シフターを挿入する第3の工程とを備えている。

第1のマスクデータ作成方法によると、透光部を透過した光の像の周辺部における光強度分布のコントラストを強調でき、且つ遮光像の中心部におけるサイド

ローブの発生を防止できるフォトマスクを実現できる。

第1のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、位相シフターと透光部との間に所定の寸法以下の半遮光部を挿入する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、マスク寸法誤差によって光強度分布が影響を受けにくいフォトマスクを実現できる。

第1のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、マスクパターンにおける所定の寸法以下で透光部に挟まれた領域に、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる他の位相シフターを挿入する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、サイドローブの発生を防止できるフォトマスクを実現できる。このとき、他の位相シフターは、透光部を基準として露光光を、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差で透過させてもよい。

第1のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、マスクパターンの中から、所定の寸法以下の幅を有するライン状のパターン端部を抽出して、該抽出されたパターン端部におけるライン方向と平行な周縁部に他の位相シフターを挿入する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、ラインパターン端部の後退を防止できるフォトマスクを実現できる。また、ラインパターンが他のパターンと近接する場合には、パターン間のブリッジを防止できるフォトマスクを実現できる。

第1のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、マスクパターンの中からコーナーを抽出して、マスクパターンにおける抽出されたコーナーの屈曲点から所定の寸法以内の領域に位相シフターが配置されている場合には、該位相シフターを半遮光部と置換するか又は該位相シフターの寸法を縮小する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、所望の形状を持つパターンコーナー部を形成できるフォトマスクを実現できる。

第1のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、フォトマスクを用いて形成しようとするパターンが所望の寸法を有するように、位相シフターの寸法を固定した状態で半遮光部の寸法を補正する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、マスク寸法の変更に対するパターン（レジストパターン）寸法の変動量が小さいフォトマスク、つまり所望の寸法を持つパターンを形成できるフォトマスクを実現できる。

本発明に係る第2のマスクデータ作成方法は、本発明のフォトマスクのマスクデータ作成方法を前提とし、フォトマスクを用いて形成しようとするパターンに基づいてマスクパターンの形状を決定すると共に半遮光部の透過率を設定する第1の工程と、第1の工程よりも後に、マスクパターンにおける幅が所定の寸法以下である領域を抽出する工程と、第2の工程よりも後に、抽出された領域、及びマスクパターンにおける幅が所定の寸法を越える領域の周縁部に位相シフターを挿入する第3の工程とを備えている。

第2のマスクデータ作成方法によると、マスクパターンにおける幅の小さい部分と対応する遮光像の中心部、及びマスクパターンにおける幅の大きい部分と対応する遮光像の輪郭部のそれぞれにおける光強度分布のコントラストを強調できるフォトマスクを実現できる。

第2のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、位相シフターと透光部との間に所定の寸法以下の半遮光部を挿入する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、マスク寸法誤差によって光強度分布が影響を受けにくいフォトマスクを実現できる。

第2のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、マスクパター

ンにおける幅が所定の寸法を越える領域に、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる他の位相シフターを挿入する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、サイドローブの発生を防止できるフォトマスクを実現できる。このとき、他の位相シフターは、透光部を基準として露光光を、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差で透過させてもよい。

第2のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、マスクパターンの中から、所定の寸法以下の幅を有するライン状のパターン端部を抽出して、該抽出されたパターン端部におけるライン方向と平行な周縁部に他の位相シフターを挿入する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、ラインパターン端部の後退を防止できるフォトマスクを実現できる。また、ラインパターンが他のパターンと近接する場合には、パターン間のブリッジを防止できるフォトマスクを実現できる。

第2のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、マスクパターンの中からコーナーを抽出して、マスクパターンにおける抽出されたコーナーの屈曲点から所定の寸法以内の領域に位相シフターが配置されている場合には、該位相シフターを半遮光部と置換するか又は該位相シフターの寸法を縮小する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、所望の形状を持つパターンコーナー部を形成できるフォトマスクを実現できる。

第2のマスクデータ作成方法において、第3の工程よりも後に、フォトマスクを用いて形成しようとするパターンが所望の寸法を有するように、位相シフターの寸法を固定した状態で半遮光部の寸法を補正する工程を備えていることが好ましい。

このようにすると、マスク寸法の変更に対するパターン（レジストパターン）寸法の変動量が小さいフォトマスク、つまり所望の寸法を持つパターンを形成で

きるフォトマスクを実現できる。

図面の簡単な説明

図1は本発明の第1の実施形態に係る輪郭強調法を用いたフォトマスクの平面図である。

図2(a)～(g)は本発明の輪郭強調法の原理を説明するための図である。

図3(a)～(f)は本発明の輪郭強調法における位相シフターの寸法限界を説明するための図である。

図4(a)～(d)は本発明の輪郭強調法における位相シフターの寸法限界を説明するための図である。

図5(a)～(f)は本発明の輪郭強調マスクに対して様々な光源位置から露光を行なって孤立パターンを形成する場合における光強度分布のコントラストの変化を説明するための図である。

図6(a)～(f)は本発明の輪郭強調マスクに対して様々な光源位置から露光を行なって密集パターンを形成する場合における光強度分布のコントラストの変化を説明するための図である。

図7(a)～(e)は本発明の輪郭強調マスクによるDOF改善効果を説明するための図である。

図8(a)～(f)は本発明の輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率に対するコントラスト及びDOFの依存性を説明するための図である。

図9(a)～(f)は、コンタクトパターンと対応する開口部が設けられた、本発明の輪郭強調マスクにおける、半遮光部と位相シフターとから構成される遮光性のマスクパターンのバリエーションを示す図である。

図10は、図9(b)に示す本発明の輪郭強調マスクのマスクパターンを基本構造として、コンタクトパターンと対応する開口部が蜜に配置された、本発明の輪郭強調マスクの平面図である。

図 1 1 (a) 及び (b) は、本発明の輪郭強調マスクにおける開口部の寸法に対する D O F の依存性を説明するための図である。

図 1 2 は本発明の第 2 の実施形態に係る中心線強調法を用いたフォトマスクの平面図のである。

図 1 3 (a) ~ (c) は本発明の中心線強調法の原理を説明するための図である。

図 1 4 (a) 及び (b) は、本発明のイメージ強調マスクにおける位相シフター形状のバリエーションを示す図である。

図 1 5 (a) ~ (c) は、位相シフターとなる開口部の寸法がそれぞれ異なる、複数の本発明のイメージ強調マスクを用いて、色々な露光光入射方向からの露光を行なった場合における D O F 特性をシミュレーションによって計算した結果を示す図である。

図 1 6 (a) 及び (b) は、本発明のイメージ強調マスクにおいてマスクパターンを構成する遮光部として半遮光部を用いることの利点を説明するための図である。

図 1 7 は、本発明の第 3 の実施形態に係るマスクデータ作成方法のフロー図である。

図 1 8 (a) ~ (d) は本発明の第 3 の実施形態に係るマスクデータ作成方法を用いてスペースパターン形成用のマスクパターンを形成する場合の各工程を示す図である。

図 1 9 (a) ~ (d) は本発明の第 3 の実施形態に係るマスクデータ作成方法を用いてスペースパターン形成用のマスクパターンを形成する場合の各工程を示す図である。

図 2 0 (a) ~ (d) は本発明の第 3 の実施形態に係るマスクデータ作成方法を用いてラインパターン形成用のマスクパターンを形成する場合の各工程を示す図である。

図 2 1 (a) ~ (c) は本発明の第 3 の実施形態に係るマスクデータ作成方法を用いてラインパターン形成用のマスクパターンを形成する場合の各工程を示す図である。

図 2 2 は本発明の第 3 の実施形態に係るマスクデータ作成方法におけるマスクパターンの線幅に応じた位相シフターの挿入方法を示す図である。

図 2 3 は本発明の第 4 の実施形態に係るフォトマスクの平面図である。

図 2 4 (a) ~ (f) はそれぞれ図 2 3 における A A ' 線の断面図である。

図 2 5 (a) ~ (d) は本発明の第 5 の実施形態に係るパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

図 2 6 (a) ~ (e) はそれぞれ本発明の第 6 の実施形態に係るマスクデータ作成方法におけるライン端部に対する変形補償方法を説明するための図である。

図 2 7 (a) ~ (f) はそれぞれ本発明の第 6 の実施形態に係るマスクデータ作成方法におけるコーナー部に対する変形補償方法を説明するための図である。

図 2 8 (a) は従来のパターン形成方法において形成対象となる所望のパターンのレイアウトの一例を示す図であり、図 2 8 (b) 及び図 2 8 (c) はそれぞれ図 2 8 (a) に示すパターンを形成するために用いられる、従来の 2 枚のフォトマスクの平面図である。

図 2 9 (a) ~ (g) は従来のハーフトーン位相シフトマスクによるパターン形成方法の原理を説明するための図である。

図 3 0 (a) は通常の露光光源の形状を示す図であり、図 3 0 (b) は輪帯露光光源の形状を示す図であり、図 3 0 (c) は四重極露光光源の形状を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

第 1 の実施形態

まず、本発明を実現する上で本願発明者が考案した、フォトマスクによる解像

度向上方法、具体的には、孤立スペースパターンの解像度を向上させるための「輪郭強調法」を用いたフォトマスクについて説明する。

図1は、本発明の第1の実施形態に係る輪郭強調法を用いたフォトマスク（以下、輪郭強調マスクと称する）、具体的には、孤立コンタクトパターンと対応する透光部が設けられた輪郭強調マスクの平面図である。

図1に示すように、輪郭強調マスク1は、露光光に対して透過性を有する透過性基板2と、透過性基板2の主面に形成され且つ露光光を部分的に透過させる透過率を持つ半遮光部3と、透過性基板2の主面に半遮光部3に囲まれるように形成され且つ孤立コンタクトパターンと対応する透光部（開口部）4と、透過性基板2の主面における半遮光部3と透光部4との間に透光部4を取り囲むように形成されたリング状の位相シフター5とを備えている。輪郭強調マスク1においては、透光部4を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光部3と、透光部4を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフター5とによって、遮光性を有するマスクパターンが構成されている。

尚、本明細書においては、 $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差は同位相とみなし、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差は反対位相とみなす。

また、露光光に対する半遮光部3の透過率は15%以下であり、好ましくは6%以上で且つ15%以下である。このような半遮光部3の材料としては、例えば、Cr（クロム）、Ta（タンタル）、Zr（ジルコニウム）若しくはMo（モリブデン）等の金属又はこれらの金属の合金からなる薄膜（厚さ50nm以下）を用いることができる。前述の合金としては、具体的には、Ta-Cr合金、Zr-Si合金又はMo-Si合金等がある。さらに、半遮光部3の厚さを大きくしたい場合には、ZrSiO、Cr-Al-O、TaSiO又はMoSiO等の酸化物を含有する材料を用いてもよい。

また、露光光に対する位相シフター 5 の透過率は、半遮光部 3 の透過率よりも高く且つ透光部 4 の透過率と同等以下である。

〈輪郭強調法の原理〉

次に、本実施形態で用いた、孤立スペースパターンの解像度を向上させるための「輪郭強調法」について、ポジ型レジストプロセスによりコンタクトパターンを形成する場合を例として説明する。ここで、「輪郭強調法」は、ポジ型レジストプロセスにおける微小スペースパターンであれば、その形状に関わらず全く同様に成り立つ原理である。また、「輪郭強調法」は、ネガ型レジストプロセスを用いる場合も、ポジ型レジストプロセスにおける微小スペースパターン（レジスト除去パターン）を微小パターン（レジストパターン）と置き換えて考えれば全く同様に適用できる。

図 2（a）～（g）は、コンタクトパターン形成領域における光の転写像を強調するための原理を説明する図である。

図 2（a）は、透過性基板表面に形成され且つ露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部に、コンタクトパターンと対応する開口部が設けられてなるフォトマスクの平面図である。また、図 2（b）は、図 2（a）に示すフォトマスクを透過して被露光材料上における線分 AA' と対応する位置に転写される光の振幅強度を示している。

図 2（c）は、透過性基板主面に形成された完全遮光部に、図 2（a）に示す開口部の周辺領域と対応するようにリング状の位相シフターが設けられてなるフォトマスクの平面図である。また、図 2（d）は、図 2（c）に示すフォトマスクを透過して被露光材料上における線分 AA' と対応する位置に転写される光の振幅強度を示している。ここで、図 2（d）に示す光の振幅強度は、該光が位相シフターを透過したものであるため、図 2（b）に示す光の振幅強度に対して反対位相の関係にある。

図 2（e）は、本実施形態に係る輪郭強調マスクの一例であり、透過性基板主

面に形成された半遮光部に、図 2 (a) に示すフォトマスクと同様のコンタクトパターンと対応する開口部が設けられ且つ図 2 (c) に示すフォトマスクと同様のリング状の位相シフターが開口部の周辺領域に設けられてなるフォトマスクの平面図である。また、図 2 (f) 及び図 2 (g) は、図 2 (e) に示すフォトマスクを透過して被露光材料上における線分 A A' と対応する位置に転写される光の振幅強度及び光強度（光の振幅強度の 2 乗）を示している。

以下、図 2 (e) に示す輪郭強調マスクを透過した光の転写像が強調される原理について説明する。図 2 (e) に示すフォトマスクの構造は、図 2 (a) の半遮光部と図 2 (c) の位相シフターとを透過性基板上で重ね合わせた構造になっている。また、図 2 (b)、図 2 (d) 及び図 2 (f) に示すように、図 2 (e) に示すフォトマスクを透過した光の振幅強度は、図 2 (a) 及び図 2 (c) のそれぞれに示すフォトマスクを透過した光の振幅強度を重ね合わせたような分布になっている。ここで、図 2 (f) から分かるように、図 2 (e) に示すフォトマスクにおいて、開口部の周辺に配置された位相シフターを透過した光は、開口部及び半遮光部を透過した光の一部を打ち消すことができる。従って、図 2 (e) に示すフォトマスクにおいて、位相シフターを透過する光の強度を、開口部を囲む輪郭部の光が打ち消されるように調整すれば、図 2 (g) に示すように、開口部周辺と対応する光強度がほぼ 0 に近い値まで減少した光強度分布の形成が可能となる。

また、図 2 (e) に示すフォトマスクにおいて、位相シフターを透過する光は、開口部周辺の光を強く打ち消す一方、開口部中央付近の光を弱く打ち消す。その結果、図 2 (g) に示すように、図 2 (e) に示すフォトマスクを透過した光における、開口部からその周辺部に向けて変化する光強度分布のプロファイルの傾きが増大するという効果も得られる。従って、図 2 (e) に示すフォトマスクを透過した光の強度分布は、シャープなプロファイルを有するようになるので、コントラストの高い光強度の像が形成される。

以上が本発明における光強度の像（イメージ）を強調する原理である。すなわち、露光光の一部を透過させる透過率を有する半遮光部を用いて形成されたマスクの開口部の輪郭部に沿って位相シフターを配置することにより、図2（a）に示すフォトマスクによって形成される光強度の像の中に、開口部の輪郭部と対応する非常に強い暗部を形成することが可能となる。これによって、開口部の光強度とその輪郭部の光強度との間でコントラストが強調された光強度分布を形成できる。本明細書においては、このような原理によってイメージ強調を行なう方法を「輪郭強調法」と称すると共に、この原理を実現するフォトマスクを「輪郭強調マスク」と称する。

ここで、本発明の基本原理となる輪郭強調法と、従来のハーフトーン位相シフトマスクによる原理との違いについて説明する。輪郭強調法の原理において最も重要なことは、半遮光部及び開口部を透過する光の一部が位相シフターを透過する光によって打ち消され、それによって光強度分布内に暗部を形成している点である。すなわち、位相シフターがあたかも不透明パターンのごとき振る舞いをするという点である。そのため、図2（f）に見られるように、輪郭強調マスクを透過した光の振幅強度においても、同じ位相側での強度変化によって暗部が形成されている。そして、この状態のときのみ斜入射露光によってコントラストを向上させることが可能になる。

一方、コンタクトパターンと対応する開口部を有する従来のハーフトーン位相シフトマスクを露光したときの光強度分布においても、図29（g）に示すように、開口部の周辺に強い暗部が形成される。しかし、従来のハーフトーン位相シフトマスクを露光したときの光の振幅強度を表す図29（f）と、輪郭強調マスクを露光したときの光の振幅強度を表す図2（f）とを比べると、次のような違いが明らかに存在する。すなわち、図29（f）に示すように、ハーフトーン位相シフトマスクを露光した場合の振幅強度分布においては位相境界が存在していると共に、図29（g）に示すように、該位相境界つまり位相端によって光強度

分布の暗部が生じてイメージ強調が実現されている。但し、位相端による暗部が形成されてコントラストの強調効果を得るためには、フォトマスクに対して垂直に入射する光の成分が必要となる。言い換えると、斜入射露光によっては位相境界が発生しても位相端による暗部は形成されず、その結果、コントラスト強調効果は得られない。これが、ハーフトーン位相シフトマスクに対して斜入射露光を行なってもコントラスト強調効果が生じない理由である。従って、ハーフトーン位相シフトマスクに対しては、干渉度の低い小さな光源を用いて露光を行なわなければならない。それに対して、図2（f）に示すように、輪郭強調マスクを露光した場合の振幅強度分布においては位相境界が生じないため、斜入射露光の成分によっても微小な孤立スペースパターンの形成に必要な光の転写像を高いコントラストで形成できる。

〈輪郭強調マスクにおける位相シフター幅の最適化〉

次に、輪郭強調法において、斜入射露光成分によって高いコントラストが得られることを詳細に示す前に、図2（e）に示すような輪郭強調マスクの構造であっても、位相シフターの幅が過剰に大きくなると、輪郭強調法の効果が得られなくなることを説明しておく。

図3（a）は、透過性基板主面に形成され且つ露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部に、コンタクトパターンと対応する開口部と、該開口部を囲む領域に位置する小さい幅の位相シフターとが設けられてなる輪郭強調マスクの平面図である。また、図3（b）は、図3（a）に示す輪郭強調マスクに対して干渉度 $\sigma = 0.4$ の小さな光源を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示しており、図3（c）は、図3（a）に示す輪郭強調マスクに対して輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示している。

また、図3（d）は、透過性基板主面に形成され且つ露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部に、コンタクトパターンと対応する開口部と、該開口部

を囲む領域に位置する大きい幅の位相シフターとが設けられてなる輪郭強調マスクの平面図である。また、図3(e)は、図3(d)に示す輪郭強調マスクに対して干渉度 $\sigma=0.4$ の小さな光源を用いて露光を行なった場合における線分AA'に対応する光強度分布の計算結果を示しており、図3(f)は、図3(d)に示す輪郭強調マスクに対して輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分AA'に対応する光強度分布の計算結果を示している。

ここで、図3(d)に示す輪郭強調マスクにおける位相シフターの幅は、輪郭強調法の原理が成り立たないほど過剰に大きく設定されているものとする。具体的には、図3(a)及び図3(d)に示す開口部の寸法は共に220nm四方であり、図3(a)に示す位相シフターの幅は60nmであり、図3(d)に示す位相シフターの幅は150nmである。また、輪帯照明としては、図3(b)に示すような輪帯露光光源、具体的には、外径 $\sigma=0.75$ 、内径 $\sigma=0.5$ の2/3輪帯と呼ばれるものを用いた。また、露光条件としては、光源波長 $\lambda=193\text{nm}$ (ArF光源)、開口数 $NA=0.6$ を用いた。さらに、位相シフターの透過率は6%である。尚、以下の説明においては、特に断らない限り、光強度を、露光光の光強度を1としたときの相対光強度で表す。

図3(b)及び(c)に示すように、輪郭強調法の原理が成り立つ図3(a)に示す輪郭強調マスクを用いた場合、位相シフターの不透明化作用による暗部は光源の種類によらず現れていると共に光強度分布におけるコントラストは輪帯照明によってより高い値が得られている。

一方、位相シフターが過剰に大きい図3(d)に示す輪郭強調マスクを用いた場合、位相シフターを透過する光が強くなりすぎるため、振幅強度分布において反対位相の強度分布が形成されてしまう。このような状況では、ハーフトーン位相シフトマスクと同様の原理が作用する。その結果、図3(e)及び(f)に示すように、小さな光源による露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されてコントラスト強調効果が現れる一方、斜入射露光を行な

ったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されないために非常にコントラストの悪い像が形成される。

すなわち、輪郭強調法を実現するためには、マスク構造において、半遮光部に囲まれた開口部の周辺に位相シフターが配置されているだけではなく、その位相シフター内を透過する光が制限されている必要がある。後者の方は、原理的なメカニズムによれば、位相シフターを透過する光が、半遮光部及び開口部を透過する光を打ち消す以上の強度を有し、且つその振幅強度分布において一定の大きさ以上の反対位相の強度分布が形成されないことを意味する。

実際に位相シフターを透過する光を制限するために、位相シフターの透過率に応じてその幅に条件（具体的には上限）を設ける方法を用いることができる。以下、この条件について、位相シフターを透過する光によって位相シフター周辺からの光を打ち消すための条件を考察した結果（図4（a）～（d）参照）を用いて説明する。

図4（a）に示すように、透過性基板上に透過率 T 、線幅 L の位相シフターが設けられたフォトマスク（位相シフターマスク）を用いた露光において、被露光材料上におけるマスクパターンの中心と対応する位置に生じる光強度を $I_h(L, T)$ とする。また、図4（b）に示すように、位相シフターマスクの位相シフターに代えて完全遮光膜が設けられたフォトマスク（遮光マスク）を用いた露光において、被露光材料上におけるマスクパターンの中心と対応する位置に生じる光強度を $I_c(L)$ とする。また、図4（c）に示すように、位相シフターマスクの位相シフターに代えて通常の透光部（開口部）が設けられ、且つ位相シフターマスクの透光部に代えて完全遮光膜よりなる遮光部が設けられたフォトマスク（透過マスク）を用いた露光において、被露光材料上におけるマスクパターンの中心と対応する位置に生じる光強度を $I_o(L)$ とする。

図4（d）は、図4（a）に示す位相シフターマスクを用いた露光において位相シフターの透過率 T 及びマスクパターンの線幅 L を色々変化させた場合にお

る光強度 $I_h(L, T)$ のシミュレーション結果を、透過率 T 及び線幅 L をそれぞれ縦軸及び横軸に取って光強度の等高線で表した様子を示している。ここで、 $T = I_c(L) / I_o(L)$ の関係を表すグラフを重ね書きしている。また、シミュレーション条件は、露光光の波長 $\lambda = 0.193 \mu m$ (ArF光源)、露光機の投影光学系の開口数 $NA = 0.6$ 、露光光源の干渉度 $\sigma = 0.8$ (通常光源) である。

図4(d)に示すように、光強度 $I_h(L, T)$ が最小となる条件は $T = I_c(L) / I_o(L)$ の関係で表すことができる。これは、物理的には、位相シフター内を透過する光の光強度を表す $T \times I_o(L)$ と、位相シフター外を透過する光の光強度 $I_c(L)$ とが釣り合う関係を表している。従って、位相シフター内を透過する光が過剰となって振幅強度分布において反対位相の振幅強度が現れる位相シフターの幅 L は、 $T \times I_o(L)$ が $I_c(L)$ よりも大きくなる幅 L ということになる。

また、光源種類によって多少の違いはあるが、透過率1の位相シフター内を透過する光が、位相シフター外を透過する光と釣り合うときの幅 L は $0.3 \times \lambda$ (光源波長) / NA (開口数) 程度 (図4(d)の場合で $100 nm$ 程度) であることが、種々のシミュレーション結果から経験的に得られた。さらに、図4(d)から分かるように、6%以上の透過率を有する位相シフター内を光が過剰に透過することを防止するためには、透過率1(100%)の位相シフターの場合と比べて幅 L を2倍以下にする必要がある。すなわち、6%以上の透過率を有する位相シフター内を光が過剰に透過することを防止するためには、位相シフターの幅 L の上限は $0.6 \times \lambda / NA$ 以下でなければならない。

以上の考察を輪郭強調マスクに当てはめると、輪郭強調マスクにおいては位相シフター外を透過する光としては、実質的に位相シフターの両側ではなく片側のみを考慮すればよいので、輪郭強調マスクにおける位相シフターの幅 L の上限は上記の考察による上限の半分と考えればよい。従って、輪郭強調マスクにおける

位相シフターの幅 L の上限は、位相シフターの透過率が6%以上の場合で $0.3 \times \lambda / NA$ 以下である。ただし、これは十分条件ではなく、位相シフターの透過率が6%よりも高くなると、位相シフターの幅 L の上限を $0.3 \times \lambda / NA$ よりも小さくする必要がある。但し、位相シフターの幅 L は、位相シフターとしての光学的な作用が得られる $0.1 \times \lambda / NA$ 以上であることが好ましい。

尚、本明細書においては、特に断らない限り、位相シフター幅等の種々のマスク寸法を被露光材料上での寸法に換算して表すこととするが、マスク実寸法は、換算寸法に、露光機の縮小投影光学系の縮小倍率 M を乗ずることにより簡単に求めることができる。

〈輪郭強調マスクと斜入射露光との組み合わせによるコントラスト〉

次に、輪郭強調マスクにおいて斜入射露光によってイメージ強調が実現されることを、輪郭強調マスクに対して様々な光源位置から露光を行なった場合における光強度分布のコントラストの変化に基づいて詳細に説明する。

図5(a)は輪郭強調マスクの一例の平面図である。ここで、半遮光部の透過率は7.5%であり、位相シフター及び開口部の透過率は100%である。また、開口部の寸法(被露光ウェハ上換算)は200nm四方であり、位相シフターの幅は50nmである。

図5(c)は、図5(a)に示す輪郭強調マスクに対して、開口数 NA で規格化された様々な光源位置の点光源から露光を行なった場合における図5(a)の線分 AA' と対応する光強度分布を光学シミュレーションにより計算して、該計算結果(例えば図5(b)に示されるような光強度分布)における開口部中央に相当する位置の光強度 I_0 を読み取り、該光強度 I_0 を各光源位置に対してプロットした結果を示している。ここでは、光源波長 λ が193nm(ArF光源)、開口数 NA が0.6として光学計算によるシミュレーションを行なった結果を示している。尚、以下の説明では特に断らない限り、光学シミュレーションにおいて、波長 $\lambda = 193\text{nm}$ (ArF光源)、開口数 $NA = 0.6$ の条件で計算を

行なうものとする。

図5(c)に示すように、開口部中央の光強度 I_0 は外側の光源位置(図5(c)の原点から遠い光源位置)の点光源で露光される程大きくなる。すなわち、斜入射成分の強い光源で露光される程、コントラストが強くなることが分かる。図面を参照しながら具体的に説明する。図5(d)、図5(e)及び図5(f)は、図5(c)に示すサンプル点P1、P2及びP3のそれぞれに点光源が位置する場合における、図5(a)の線分AA'と対応する光強度分布をプロットしたものである。図5(d)、図5(e)及び図5(f)に示すように、点光源の位置が外側になるに従って、言い換えると、大きい斜入射光源位置になるに従って、高いコントラストの像が形成されている。

以上の結果から分かるように、輪郭強調マスクは、従来のハーフトーン位相マスクでは実現できなかった、コンタクトパターン等の微小な孤立スペースパターンの形成における斜入射露光による光強度分布のコントラスト強調を可能とするものである。

次に、密集コンタクトパターンと対応する複数の開口部が設けられた輪郭強調マスクに対して様々な光源位置から露光を行なった場合における、光強度分布のコントラストの光源位置に対する依存性について説明する。

図6(a)は、複数の開口部が設けられた輪郭強調マスクの一例の平面図である。ここで、半遮光部の透過率は7.5%であり、位相シフター及び開口部の透過率は100%である。図6(a)に示すように、開口部が位相シフターを挟んで密に配置された輪郭強調マスクでは、一の開口部の周辺に設けられた位相シフターが、一の開口部と隣り合う他の開口部の周辺に設けられた位相シフターと結合される。尚、各開口部の寸法(被露光ウェハ上換算)は200nm四方であり、各開口部の繰返し周期(被露光ウェハ上換算)は270nmである。従って、位相シフターの幅(被露光ウェハ上換算)は70nmである。

図6(c)は、図6(a)に示す輪郭強調マスクに対して、開口数NAで規格

化された様々な光源位置の点光源から露光を行なった場合における図6 (a) の線分AA' と対応する光強度分布を光学シミュレーションにより計算して、該計算結果 (例えば図6 (b) に示されるような光強度分布) における一の開口部中央に相当する位置の光強度 I_o を読み取り、該光強度 I_o を各光源位置に対してプロットした結果を示している。

図6 (c) に示すように、各光源位置に対する開口部中央の光強度 I_o の分布は同心円状に変化するのではなく、開口部の繰返し周期に依存して光強度 I_o の分布形状が変化する一方、基本的に外側の光源位置に最もコントラストの高い領域が存在する。図6 (c) に示す光強度 I_o の分布の場合、図30 (c) に示すような四重極露光光源と呼ばれる、マスクパターンの配置方向に対して45度方向の斜めの位置から入射する光によって最高のコントラストが得られる。図6 (d)、図6 (e) 及び図6 (f) は、図6 (c) に示すサンプル点P1、P2 及びP3のそれぞれに点光源が位置する場合における、図6 (a) の線分AA' と対応する光強度分布をプロットしたものである。図6 (d)、図6 (e) 及び図6 (f) に示すように、点光源の位置が外側になるに従って、言い換えると、大きい斜入射光源位置になるに従って、高いコントラストの像が形成されている。

以上の結果から分かるように、輪郭強調マスクにおいては、密集コンタクトパターンを形成する場合にも孤立コンタクトパターンを形成する場合と同様に、各光強度分布の像において最も高いコントラストを実現できるのは外側の光源位置である。従って、輪郭強調マスクに対して斜入射露光を行なうことによって、孤立コンタクトパターンと密集コンタクトパターンとを同時に、光強度分布におけるコントラストを強調しながら形成できることが分かる。

〈輪郭強調マスクにおける焦点深度〉

次に、輪郭強調マスクによって形成される光強度分布において焦点深度 (DOF) が増加することを説明する。輪郭強調マスクにおいては、半遮光部を用いた

ことによるDOFの増加効果、及び、位相シフターの補助によるDOFの増加効果の両方が合わさって飛躍的にDOFが増加する。

以下、本発明の輪郭強調マスクを用いてコンタクトパターンを形成した場合におけるパターンの仕上がり寸法（CD：Critical Dimension）のデフォーカス依存性つまりDOF特性をシミュレーションした結果について、従来のクロムマスク、ハーフトーンマスク及びハーフトーン位相シフトマスクのそれぞれを用いた場合と比較して説明する。

図7（a）は、透過性基板主面に形成された半遮光部に、コンタクトパターンと対応する開口部（幅W）と、該開口部を囲む領域に位置する位相シフター（幅d）とが設けられてなる輪郭強調マスクの平面図である。また、図7（b）は、透過性基板主面に形成された完全遮光部となるクロム膜に、コンタクトパターンと対応する開口部（幅W）が設けられてなるクロムマスクの平面図である。また、図7（c）は、透過性基板主面に形成された半遮光部に、コンタクトパターンと対応する開口部（幅W）が設けられてなるハーフトーンマスクの平面図である。さらに、図7（d）は、透過性基板主面に形成された遮光部となる位相シフターに、コンタクトパターンと対応する開口部（幅W）が設けられてなるハーフトーン位相シフトマスクの平面図である。尚、幅W及び幅d等のマスク寸法は、図7（a）～図7（d）に示す各マスクを用いたベストフォーカス状態の露光によって形成される各コンタクトパターンの寸法が、同じ露光量において同一（具体的には0.12 μm ）になるように調整されているものとする。

図7（e）は、図7（a）～図7（d）に示す各マスクを用いた露光におけるDOF特性を示している。尚、光学シミュレーションにおいては斜入射露光である四重極露光を用いている。また、ベストフォーカス状態のフォーカス位置を基準の0 μm としている。図7（e）に示すように、クロムマスクのDOF特性と比べてハーフトーンマスクのDOF特性は向上しており、ハーフトーンマスクのDOF特性と比べて輪郭強調マスクのDOF特性はさらに向上している。また、

ハーフトーン位相シフトマスクのDOF特性はクロムマスクのDOF特性よりも悪い。

以上の結果から分かるように、輪郭強調マスクのDOF特性は、従来のクロムマスク、ハーフトーンマスク及びハーフトーン位相シフトマスクのいずれのDOF特性よりもさらに向上している。

〈輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率依存性〉

ここまで、輪郭強調マスクによってコントラスト及びDOFが向上することを説明してきたが、次に、輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率に対するコントラスト及びDOFの依存性について説明する。具体的には、図8(a)に示す輪郭強調マスクを用いたパターン形成における、各種マージンをシミュレーションした結果(図8(b)～図8(f))に基づいて説明を行なう。図8(b)は、露光を行なったときに形成される光強度分布を示している。図8(b)においては、幅100nmのホールパターンを形成しようとした場合に定義される各種のマージンに関する値も図中に示している。具体的には、臨界強度 I_{th} はレジスト膜が感光する光強度であり、この値に対して各種のマージンが定義される。例えば I_p を光強度分布のピーク値とすると、 I_p/I_{th} はレジスト膜を感光させる感度に比例する値となり、この値が高いほど好ましい。また、 I_b を半遮光部を透過する光のバックグラウンド強度とすると、 I_{th}/I_b が高い程、パターン形成時にレジスト膜の膜減り等が発生しないことを意味し、この値が高いほど好ましい。一般に I_{th}/I_b の値は2以上あることが望まれている。以上のことを踏まえて各マージンについて説明する。

図8(c)は、パターン形成時における半遮光部の透過率に対するDOFの依存性について計算した結果を示している。ここで、DOFは、パターンの仕上がり寸法の変化が10%以内に収まるフォーカス位置の幅として定義してある。図8(c)に示すように、DOFの向上には半遮光部の透過率は高いほど好ましい。また、図8(d)は、パターン形成時における半遮光部の透過率に対するピー

ク値 I_p について計算した結果を示している。図 8 (d) に示すように、ピーク値 I_p つまりコントラストの向上にも半遮光部の透過率が高いほど好ましい。以上の結果から、輪郭強調マスクにおいては、半遮光部の透過率が高い程好ましく、具体的には、図 8 (c) 及び (d) に示すように、透過率が 0 % から 6 % 程度まで上がる間にマージンの向上率が大きくなっており、透過率が 6 % 以上の半遮光部を用いることが好ましいことが理解できる。

図 8 (e) は、パターン形成時における半遮光部の透過率に対する I_{th}/I_b について計算した結果を示している。図 8 (e) に示すように、 I_{th}/I_b は半遮光部の透過率が高くなるほど低くなっており、 I_{th}/I_b の向上には半遮光部の透過率が高くなりすぎると好ましくない。具体的には、半遮光部の透過率が 15 % 程度で I_{th}/I_b は 2 よりも小さくなってしまう。また、図 8 (f) は、パターン形成時における半遮光部の透過率に対する I_p/I_{th} について計算した結果を示している。図 8 (f) に示すように、半遮光部の透過率が 15 % 程度のところに I_p/I_{th} はピークを持っている。

以上に説明したように、輪郭強調マスクにおいては、DOF 又はコントラストは半遮光部の透過率を高くするほど向上し、その効果は半遮光部の透過率が 6 % を越えるとより顕著になる。一方、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り防止、又はレジスト感度の最適化等の観点からは、半遮光部の透過率の最大値は 15 % 程度にしておくことが好ましい。従って、輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率の最適値は 6 % 以上で且つ 15 % 以下であると言える。

〈輪郭強調マスクのバリエーション〉

図 9 (a) ~ (f) は、コンタクトパターンと対応する開口部が設けられた輪郭強調マスクにおける、半遮光部と位相シフターとによって構成される遮光性のマスクパターンのバリエーションを示す平面図である。

図 9 (a) に示す輪郭強調マスク 1 a は、図 1 に示す輪郭強調マスクと同じ構成を有している。すなわち、露光光に対して透過性を有する透過性基板 2 a と、

透過性基板 2 a 上に形成された半遮光部 3 a と、半遮光部 3 a を開口して設けられ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 a と、半遮光部 3 a と開口部 4 a との間に開口部 4 a を取り囲むように形成されたリング状の位相シフター 5 a とを備えている。

図 9 (b) に示す輪郭強調マスク 1 b は、露光光に対して透過性を有する透過性基板 2 b と、透過性基板 2 b 上に形成された半遮光部 3 b と、半遮光部 3 b を開口して設けられ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 b と、開口部 4 b の各辺と同一長さを有する矩形状の 4 つの位相シフター部からなり且つ開口部 4 b の各辺に接するように形成された位相シフター 5 b とを備えている。この輪郭強調マスク 1 b は、孤立パターン形成において輪郭強調マスク 1 a とほとんど同じ特性を有している。ところで、この輪郭強調マスク 1 b のマスクパターン（半遮光部 3 b と位相シフター 5 b とから構成される）を基本構造として、コンタクトパターンと対応する開口部を蜜に配置した場合には、さらに有効な効果が得られる。図 10 は、図 9 (b) に示す輪郭強調マスク 1 b のマスクパターンを基本構造として、コンタクトパターンと対応する開口部が蜜に配置された輪郭強調マスクの平面図である。図 10 に示す輪郭強調マスクにおいては、各開口部と接する位相シフター同士の結合は 2 方向以下でしか生じないので、位相シフター同士の結合部で位相シフターを透過する反対位相の光が過剰になる事態を防止できる。これにより、輪郭強調マスクの開口部と対応する場所以外の他の場所に、光強度のピーク（つまりサイドローブ）が生じることを防止できる。すなわち、対角部分を除く開口部の周囲が位相シフターによって囲まれた輪郭強調マスク（図 9 (b) 又は図 10 に示す輪郭強調マスク）を用いた場合、開口部が孤立状態であっても密集状態であっても輪郭強調法の原理が成り立つ。

図 9 (c) に示す輪郭強調マスク 1 c は、露光光に対して透過性を有する透過性基板 2 c と、透過性基板 2 c 上に形成された半遮光部 3 c と、半遮光部 3 c を開口して設けられ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 c と、開口部

4 c の各辺の長さよりも短い長さを有する矩形状の 4 つの位相シフター部からなり且つ開口部 4 c の各辺の中央と各位相シフター部の中央とが位置合わせされた状態で開口部 4 c の各辺に接するように形成された位相シフター 5 c とを備えている。この輪郭強調マスク 1 c においては、開口部 4 c の幅（大きさ）を固定して位相シフター 5 c の各位相シフター部の長さを変更することによって、露光後に形成されるレジストパターンの寸法調整を行なうことができる。例えば、位相シフター 5 c の各位相シフター部の長さを短くするほど、レジストパターンの寸法は大きくなる。ここで、輪郭強調の作用を保つために位相シフター 5 c の各位相シフター部の長さを変更できる下限は、光源（露光光）波長の半分程度までに限定される一方、マスク寸法の変更量の半分程度しかパターン寸法が変化しないので、位相シフター部の長さを調整することは、パターン寸法調整方法として非常に優れた方法となる。

図 9（d）に示す輪郭強調マスク 1 d は、露光光に対して透過性を有する透過性基板 2 d と、透過性基板 2 d 上に形成された半遮光部 3 d と、半遮光部 3 d を開口して設けられ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 d と、半遮光部 3 d と開口部 4 d との境界から所定の寸法だけ半遮光部 3 d 側に入った位置に形成されたリング状の位相シフター 5 d とを備えている。この位相シフター 5 d は、半遮光部 3 d をリング状に開口することによって形成されており、位相シフター 5 d と開口部 4 d との間にはリング状の半遮光部 3 d が介在している。

図 9（e）に示す輪郭強調マスク 1 e は、露光光に対して透過性を有する透過性基板 2 e と、透過性基板 2 e 上に形成され且つ露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部 3 e と、半遮光部 3 e を開口して設けられ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 e と、半遮光部 3 e と開口部 4 e との境界から所定の寸法だけ半遮光部 3 e 側に入った位置に形成された位相シフター 5 e とを備えている。位相シフター 5 e は、開口部 4 e の各辺の長さよりも長い矩形状をそれぞれ有し且つ開口部 4 e の対角線上で互いの角部が接する 4 つの位相シフター部

からなる。ここで、位相シフター5 eと開口部4 eとの間には、リング状の半遮光部3 eが介在している。輪郭強調マスク1 eにおいては、位相シフター5 eの大きさ及び配置を固定して開口部4 eの幅（大きさ）のみを変更することによって、露光後に形成されるレジストパターンの寸法調整を行なうことができる。例えば、開口部4 eの幅を大きくするに従ってレジストパターンの寸法も大きくなる。この開口部の幅のみを変更するパターン寸法調整方法によれば、開口部及び位相シフターの両方を同時にスケーリングしてパターン寸法の調整を行なう方法と比べて、MEEF（Mask Error Enhancement Factor：マスク寸法変化量に対するパターン寸法変化量の比）を半分程度まで低減することができる。

図9（f）に示す輪郭強調マスク1 fは、露光光に対して透過性を有する透過性基板2 fと、透過性基板2 f上に形成された半遮光部3 fと、半遮光部3 fを開口して設けられ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部4 fと、半遮光部3 fと開口部4 fとの境界から所定の寸法だけ半遮光部3 f側に入った位置に形成された位相シフター5 fとを備えている。位相シフター5 fは、開口部4 fの各辺の長さと同じ長さの矩形状をそれぞれ有し且つ開口部4 fの各辺と対向する4つの位相シフター部からなる。ここで、位相シフター5 fの各位相シフター部の長さは、開口部4 fの各辺の長さよりも長くても短くても良い。輪郭強調マスク1 fによれば、図9（c）に示す輪郭強調マスク1 cと同様にレジストパターンの寸法調整を行なうことができる。

尚、図9（d）～（f）に示す輪郭強調マスクにおいて、開口部と位相シフターとの間の半遮光部の幅は、位相シフターによる光の干渉効果を及ぼすことができる寸法、つまり λ/NA （ λ は露光光の波長、 NA は開口数）の10分の1以下であることが望ましい。また、図9（a）～（f）に示す輪郭強調マスクにおいて、開口部の形状として正方形を用いたが、例えば8角形のような多角形又は円形等であってもよい。また、位相シフターの形状も、連続したリング形状又は複数個の長方形に限られない。例えば、複数個の正方形の位相シフター部を並べ

ることによって位相シフターを形成してもよい。

次に、輪郭強調マスクにおける開口部と位相シフターとの位置関係に対する、DOF向上特性の依存性について説明する。図11(a)は、開口部の寸法(開口幅)とDOFとの関係を求めるためのシミュレーションに用いた輪郭強調マスクの構造を示す平面図であり、図11(b)は、開口幅に対するDOFの依存性のシミュレーション結果を示す図である。具体的には、図11(a)に示す輪郭強調マスクは、透過性基板主面を覆う半遮光部に、幅Wの開口部と、該開口部の外周上に位置する幅dのリング状の位相シフターとが設けられた構造として一般化して定義されたものである。また、図11(b)は、図11(a)に示す輪郭強調マスクにおいてdを50nmに固定し且つWを170~280nmの範囲で変化させたときのDOF特性をシミュレーションした結果を示している。ここで、シミュレーションにおける露光条件は、 λ が193nm、NAが0.6、使用光源が輪帯露光光源である。

図11(b)に示すように、開口部の幅Wが $0.8 \times \lambda / \text{NA}$ 以下の値である場合、位相シフターによる干渉効果が得られるので、DOFが良好な値となる。特に、開口部の幅Wが $0.6 \times \lambda / \text{NA}$ 以下の値である場合、DOFの向上効果が顕著に現れる。従って、開口部と半遮光部との境界に位相シフターが設けられた位置関係が、DOF特性向上のために最も優れた位置関係(正確には輪郭強調マスクにおける開口部と位相シフターとの位置関係)となる。すなわち、輪郭強調マスクにおいては位相シフターの干渉作用が開口部中心に及ぶことによる特別なDOF特性向上効果があり、該効果が確実に得られる開口部の幅W、つまり位相シフターの干渉作用が強く生じる開口部の幅Wは $0.8 \times \lambda / \text{NA}$ 以下である。

以上のように、図9(a)~(f)に示すマスクパターン形状のうち、DOF特性の最適化の観点からは、半遮光部と開口部との境界に位相シフターが設けられた、図9(a)~(c)に示すマスクパターン形状が好ましい。一方、MEEFを抑制しながらパターン寸法調整を実現する上では、位相シフターが開口部と

の境界から所定の寸法だけ半遮光部側に入った位置に配置された、図9（d）～（f）に示すマスクパターン形状が好ましい。

尚、本実施形態では、コンタクトパターンとなるスペースパターンを形成する場合を対象として説明してきたが、これに代えて、コンタクトパターン以外の他のスペースパターンを形成する場合にも同様の効果を得ることができる。

また、本実施形態では、遮光性のマスクパターンが開口部（透光部）を囲んでいる輪郭強調マスクを用いてスペースパターンを形成する場合を対象として説明してきた。しかし、これに代えて、遮光性のマスクパターンが開口部（透光部）によって囲まれている輪郭強調マスクを用いてラインパターンを形成する場合にも、例えばライン状の半遮光部の周辺領域つまりマスクパターンにおける透光部の近傍領域に位相シフターを配置することによって、同様の効果を得ることができる。この場合も、DOF特性の最適化の観点からは、半遮光部と透光部との境界に位相シフターが設けられたマスクパターン形状を採用することが好ましい。一方、MEEFを抑制しながらパターン寸法調整を実現する上では、位相シフターが開口部との境界から所定の寸法だけ半遮光側に配置されたマスクパターン形状を採用することが好ましい。

第2の実施形態

次に、本発明を実現する上で本願発明者が考案した、フォトマスクによる解像度向上方法、具体的には、孤立ラインパターンの解像度を向上させるための「中心線強調法」を用いたフォトマスクについて説明する。

図12は、本発明の第2の実施形態に係る中心線強調法を用いたフォトマスク（以下、イメージ強調マスクと称する）、具体的には、孤立ラインパターンを形成するためのイメージ強調マスクの平面図である。

図12に示すように、イメージ強調マスク6は、露光光に対して透過性を有する透過性基板7と、透過性基板7上に形成され、露光光の一部分を透過させる透

過率を持ち且つ孤立ラインパターンと対応する半遮光部 8 と、半遮光部 8 の内部の開口部に設けられた位相シフター 9 とを備えている。イメージ強調マスク 6 においては、透光部 7 を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光部 8 と、透光部 7 を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフター 9 とによって、遮光性を有するマスクパターンが構成されている。

また、露光光に対する半遮光部 8 の透過率は 15 % 以下であり、好ましくは 6 % 以上で且つ 15 % 以下である。このような半遮光部 8 の材料としては、例えば、Cr、Ta、Zr 若しくは Mo 等の金属又はこれらの金属の合金からなる薄膜（厚さ 50 nm 以下）を用いることができる。前述の合金としては、具体的には、Ta-Cr 合金、Zr-Si 合金又は Mo-Si 合金等がある。さらに、半遮光部 8 の厚さを大きくしたい場合には、ZrSiO₄、Cr-Al-O、TaSiO₄ 又は MoSiO₄ 等の酸化物を含有する材料を用いてもよい。

また、露光光に対する位相シフター 9 の透過率は、半遮光部 8 の透過率よりも高く且つ透光部（透過性基板 7 におけるマスクパターンが形成されていない部分）の透過率と同等以下である。

〈中心線強調法の原理〉

次に、孤立ラインパターンの解像度を向上させるための「中心線強調法」について、ポジ型レジストプロセスにより微少なラインパターンを形成する場合を例として説明する。「中心線強調法」においても、「輪郭強調法」と同様に、基本的な原理は、位相シフターの不透明作用により光強度分布における暗部を形成してコントラストを向上させることである。

まず、ライン状のマスクパターンを構成する半遮光部の内部に位相シフターを設けることによる効果について図 13 (a) ~ (c) を参照しながら説明する。

図 13 (a) は、幅 L のライン状のマスクパターンを構成する半遮光部（透過率 T_c）の内部に幅 S の位相シフター（透過率 T_s）が設けられたイメージ強調マスクの平面図と、該イメージ強調マスクを透過して線分 AA' と対応する位置

に転写される光の光強度とを合わせて示している。ここで、マスクパターン中心と対応する光強度を $I_e(L, S)$ と表す。図 13 (b) は、幅 L の半遮光部（透過率 T_c ）よりなる半遮光パターンが設けられたマスクの平面図と、該マスクを透過して線分 AA' と対応する位置に転写される光の光強度と合わせてを示している。ここで、半遮光パターン中心と対応する光強度を $I_c(L)$ とする。尚、図 13 (a) 及び (b) に示す半遮光部は、透光部を基準として同位相の光を透過させるものとする。図 13 (c) は、マスク表面を覆う完全遮光部に幅 S の位相シフター（透過率 T_s ）よりなる位相シフトパターンが設けられたマスクの平面図と、該マスクを透過して線分 AA' と対応する位置に転写される光の光強度とを合わせて示している。ここで、位相シフトパターン中心と対応する光強度を $I_o(S)$ とする。

図 13 (a) に示すイメージ強調マスクは、図 13 (b) 及び (c) のそれぞれに示すマスク構造を重ねあわせたものである。このため、 $I_c(L)$ と $I_o(S)$ とが釣り合うような L と S との関係において $I_e(L, S)$ を最小化でき、それによって図 13 (a) に示すイメージ強調マスクによるコントラストの強調を実現できる。すなわち、ライン状のマスクパターンを構成する半遮光部の内部に位相シフターを設けることによって、光強度分布のコントラスト、具体的にはマスクパターン中心におけるコントラストを中心線強調法の原理によって強調することができる。

ところで、前述の光強度 $I_o(S)$ を発生させるためのイメージ強調マスクの位相シフター（半遮光部に設けられた開口領域）の形状は、半遮光部の形状と対応させる必要はない。図 14 (a) 及び図 14 (b) は、イメージ強調マスクにおける位相シフターの他の形状を示す平面図である。具体的には、図 14 (a) 及び図 14 (b) は、ライン状のマスクパターンを構成する半遮光部内に設けられた位相シフターを示しており、図 14 (a) に示す位相シフターは、2本の長方形パターンから構成されており、図 14 (b) に示す位相シフターは、5個の

正方形パターンから構成されている。図14(a)及び図14(b)に示す位相シフターが設けられたイメージ強調マスクによっても、図12に示すイメージ強調マスクと同様な効果を得ることができる。従って、イメージ強調マスクの位相シフターの形状を、半遮光部内に収まる範囲内で、長方形、正方形、円又は多角形等の任意の形状に設定することができる。その理由は、微細な開口部は、そこを透過する光の強度が同じであれば、開口部の形状によらず全く同じ光学的振る舞いをするからである。

〈イメージ強調マスクにおけるDOF特性〉

本願発明者は、イメージ強調マスクと斜入射露光との組み合わせの有効性を明確にするために、位相シフターとなる開口部の寸法がそれぞれ異なる複数のイメージ強調マスクを用いて、色々な露光光入射方向からの露光を行なった場合におけるDOF（フォーカス深度）特性をシミュレーションによって計算してみた。図15(a)～(c)はその結果を示しており、図15(a)は露光光入射方向が光源座標（ライン状のマスクパターンの幅方向及び長さ方向にそれぞれx軸及びy軸を取った座標）の中心方向からの垂直入射である場合のシミュレーション結果を示し、図15(b)は露光光入射方向が光源座標のX軸方向又はY軸方向からの斜入射である場合のシミュレーション結果を示し、図15(c)は露光光の入射方向が光源座標の45度方向（X軸方向又はY軸方向と45度の角度をなす方向）からの斜入射である場合のシミュレーション結果を示す。ここで、イメージ強調マスクとして、各露光光入射方向に対して遮光性が最大になるように調整された開口部幅（以下、最適開口部幅と称する）を有するイメージ強調マスクと、最適開口部幅よりも小さい開口部幅を有するイメージ強調マスクと、最適開口部幅よりも大きい開口部幅を有するイメージ強調マスクとを用いた。また、比較のために、イメージ強調マスクのマスクパターンに代えて同一の外形形状を有する完全遮光パターンが設けられたフォトマスク（完全遮光マスク）を用いた場合におけるDOF特性についてもシミュレーションによって計算してみた。尚、

DOF特性は、ベストフォーカス時に各マスクパターンと対応して形成されるパターン（レジストパターン）の寸法が $0.12\mu\text{m}$ となるように露光エネルギーを設定したときに、デフォーカスによってパターン寸法がどのように変化するかを基準にして評価されている。また、図15（a）～（c）において、Lはマスクパターン幅、Sは開口部幅を示しており、フォーカス位置（横軸）0がベストフォーカス位置と対応している。

図15（a）に示すように、露光光入射方向が光源座標の中心方向からの入射方向である場合、イメージ強調マスクの開口部幅を大きくするに従ってDOF特性は劣化しており、完全遮光マスクを用いたとき（ $L=0.12\mu\text{m}$ 、 $S=0\mu\text{m}$ ）（以下、 $L/S=0.12/0\mu\text{m}$ と略す）のDOF特性が最も優れている。一方、図15（b）に示すように、露光光入射方向が光源座標のX軸方向又はY軸方向からの斜入射である場合、DOF特性はイメージ強調マスクの開口部幅に依存しておらず、イメージ強調マスクを用いた場合も完全遮光マスクを用いた場合（ $L/S=0.13/0\mu\text{m}$ ）も同じDOF特性である。しかし、図15（c）に示すように、露光光入射方向が光源座標の45度方向からの斜入射である場合、イメージ強調マスクの開口部幅を大きくするに従ってDOF特性が向上しており、完全遮光マスクを用いたとき（ $L/S=0.15/0\mu\text{m}$ ）のDOF特性が最低である。すなわち、45度方向からの斜入射露光においてマスクパターン回折光とマスクパターン透過光との干渉により生じる光強度分布のデフォーカス特性を向上させるためには、必要最低限の実効的な遮光性を実現できる範囲でマスクパターン透過光（つまり位相シフターの配置領域）を可能な限り増大させればよいことが分かる。

次に、イメージ強調マスクにおける位相シフターの配置位置について説明する。図16（a）は、半遮光部よりなる幅Lの半遮光パターンが設けられたフォトマスクの平面図と、該マスクを透過して線分AA'と対応する位置に転写される光の光強度とを合わせて示している。このような半遮光パターンの内部に位相シ

フターを設けてイメージ強調マスクを作成する場合、半遮光パターンの幅が大きくなるに従って、最大コントラストを実現できる位相シフターの幅は小さくなる。しかしながら、図16(a)に示すように、半遮光パターンはどんなに広い幅を有している場合でも、半遮光パターンの中心と対応する光強度が0にはならず、必ず残留光強度が存在する。従って、イメージ強調マスクにおいてマスクパターンを構成する遮光部として半遮光部を用いる場合には、図16(b)に示すように、半遮光部の幅が大きくなるに従って位相シフターの幅は小さくなるが、半遮光部の幅がどんなに大きくなっても、前述の残留光強度と釣り合う位相シフターを必ず設ける必要が出てくる。従って、マスク上で形成可能な位相シフターの最小寸法をこの残留光強度に合わせておくことによって、イメージ強調マスクの実現に必要な位相シフターは全て形成可能となる。但し、この残留光強度が実際の露光においてレジスト膜を感光させない量となるように、半遮光部の透過率を定めておく必要がある。

第3の実施形態

以下、本発明の第3の実施形態に係るフォトマスク及びそのマスクデータ作成方法について図面を参照しながら説明する。

図17は、輪郭強調法及び中心線強調法を利用した、第3の実施形態に係るマスクデータ作成方法、具体的には、フォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンに基づいてマスクパターンの作成を行なうマスクデータ作成方法のフロー図を示している。また、図18(a)～(d)及び図19(a)～(d)は、図17に示すマスクデータ作成方法を用いてスペースパターン形成用のマスクパターンを形成する場合の各工程を示す図である。また、図20(a)～(d)及び図21(a)～(c)は、図17に示すマスクデータ作成方法を用いてラインパターン形成用のマスクパターンを形成する場合の各工程を示す図である。

まず、ステップS11において、フォトマスクを用いて形成しようとする所望

のパターンを入力する。図18(a)及び図20(a)はそれぞれ、所望のパターンの一例を示している。図18(a)に示す所望のパターンは、レジスト除去パターン(レジストパターン中の開口部)であり、図20(a)に示す所望のパターンはレジストパターンである。

次に、ステップS12において、所望のパターンに基づいてマスクパターンの形状を決定すると共にマスクパターンに用いる半遮光部の透過率 T_c を設定する。このとき、露光条件をオーバー露光にするか又はアンダー露光にするかに応じて、所望のパターンに対して該パターンを拡大したり又は縮小したりするリサイズを行なう。図18(b)及び図20(b)はそれぞれ、リサイズ後の所望のパターンに基づき作成されたマスクパターンの一例を示している。図18(b)に示すマスクパターンは、所望のパターンと対応する開口部(透光部)を囲む半遮光部から構成されている。図20(b)に示すマスクパターンは、透光部によって囲まれた半遮光部から構成されている。

次に、ステップS13において、マスクパターンにおける所定の寸法 D_1 以下で開口部に挟まれた領域、言い換えると、マスクパターンにおける幅が所定の寸法 D_1 以下である領域を抽出する。ここで、 D_1 としては $0.8 \times \lambda / NA$ 程度が望ましい(λ は光源波長、 NA は開口数)。図18(c)及び図20(c)は、図18(b)及び図20(b)のそれぞれに示すマスクパターンにおいて所定の寸法 D_1 以下で開口部に挟まれた領域を示している。

次に、ステップS14において、ステップS13で抽出された領域内に中心線強調法が成り立つように位相シフターを挿入する。図18(d)及び図20(d)は、図18(c)及び図20(c)のそれぞれに示す、抽出された領域内に、中心線強調法が成り立つように適正な幅の位相シフターが挿入された様子を示している。

次に、ステップS15において、マスクパターン内に輪郭強調法が成り立つように位相シフターを挿入する。具体的には、図19(a)は、図18(d)に示

すマスクパターン内に輪郭強調法が成り立つように位相シフターが挿入された様子を示している。図19(a)に示すように、マスクパターンにおける開口部（方形状）の各辺と接する領域に所定寸法の位相シフターが挿入されている。尚、図19(a)に示すマスクパターンにおいては、図9(b)に示すタイプの位相シフター配置を行なっているが、位相シフター配置はこれに限られるものではない。また、図21(a)は、図20(d)に示すマスクパターン内に輪郭強調法が成り立つように位相シフターが挿入された様子を示している。図21(a)に示すように、マスクパターンにおける幅が所定の寸法D1を超える領域の周縁部に位相シフターが挿入されている。尚、図21(a)においては、図9(a)に示すタイプの位相シフター配置を行なっているが、位相シフター配置はこれに限られるものではない。

以上のステップS11からステップS15までの工程によって、中心線強調法及び輪郭強調法を用いて、微細パターン形成を可能ならしめるマスクパターンの作成を行なえた。そこで、さらに、露光によりマスクパターンと対応して形成されるパターンの寸法調整のための近接効果補正、及び、縮小露光系の縮小倍率の値に基づくマスク寸法の換算等の、通常のマスキングデータ作成処理を行なえばマスクパターンが完成する。しかしながら、パターン寸法調整においてMEEFが大きいと、マスクグリッド（マスク寸法の調整が可能な最小幅）の影響によってパターン寸法調整誤差の大きいマスクパターンとなってしまう。そこで、第3の実施形態においては、さらなるマスクパターンの改良のために、近接効果補正の実施の上で低いMEEFでパターン寸法の調整を可能とし、且つマスクグリッドに起因するパターン寸法調整誤差を低減する工程を追加的に実施する。

すなわち、ステップS16において、中心線強調法及び輪郭強調法が適用されたマスクパターンに対してMEEF低減手法を適用する。前述の輪郭強調法の原理において説明したように、パターン寸法の調整のためには位相シフターの位置又は寸法を変更する方法と、半遮光部の寸法を変更する方法とがある。一般に、

透光部を基準として反対位相の光を透過する領域となる位相シフターは、非常に強い遮光性を有するので、位相シフターの周辺にさらに半遮光部を付加しても、フォトマスクを透過した光の強度分布は影響を受けにくい。そのため、半遮光部の寸法を変更する方法は、MEEFが低くなるという点で、位相シフターの位置又は寸法を変更する方法よりも優れている。そこで、パターン寸法を調整するためのCD（パターン寸法）調整領域として、開口部と位相シフターとの境界に半遮光部を挿入する。図19（b）及び図21（b）はそれぞれ、図19（a）及び図21（a）にそれぞれ示すマスクパターンに対してCD調整用の半遮光部が設定された様子を示している。図19（b）に示すように、スペースパターン形成用の開口部は、ステップS16によって必ず半遮光部により囲まれることになる。また、図21（b）に示すように、ラインパターン形成用のマスクパターン内の位相シフターは、ステップS16によって必ず半遮光部により囲まれることになる。尚、位相シフターの周辺にCD調整領域として設けられる半遮光部は、位相シフターの遮光性に影響を与えない大きさであることが望ましいので、第3の実施形態においては、CD調整領域の幅を $0.1 \times \lambda / NA$ 以下に設定した。すなわち、CD調整領域の幅は、位相シフターによる光の干渉効果が及ぶ寸法である λ / NA の10分の1以下であることが望ましい。

ステップS11からステップS16までの工程によって作成されたマスクパターンは、微細パターン形成可能なマスクパターンである。また、このマスクパターンの作成において、近接効果補正を適用する際に、パターン寸法調整を、開口部又は位相シフターを囲む半遮光部の寸法変更によって行なえば、低いMEEFでパターン寸法の調整を実現できる。すなわち、マスクパターンのグリッドの影響に起因するパターン寸法調整誤差の低い優れたマスクパターン作成方法を実現できる。

ところで、一般に、半遮光部（つまり透過性の遮光パターン）を用いたマスクパターンを露光したときに転写される光強度は、マスクパターンの内部にいくに

つれて単純に減少するのではなく、振動しながら減少していく。この光強度分布における振動は、マスクパターンの端から λ/NA 以下のところでピークつまりサイドローブを有するものとなる。そこで、第3の実施形態では、実際のパターン形成時の露光においてオーバー露光によって、レジスト膜における半遮光部と対応する部分が感光しないように、さらなる露光マージンの拡大を実現するための工程を追加的に実施する。

すなわち、ステップS17において、中心線強調法、輪郭強調法及びMEEF低減手法が適用されたマスクパターンにサイドローブ低減用位相シフターを挿入する。ここで、孤立の開孔パターンの周辺に単独で発生するサイドローブ、又はマスクパターンの内側に発生するサイドローブは殆ど問題にならない。しかし、開孔部同士が $\lambda/NA \sim 2 \times \lambda/NA$ 程度の距離で隣り合う場合、2つのサイドローブのピークが重なり合う領域が生じるので、オーバー露光を行なうと、該領域の光強度によってレジスト膜が感光してしまう可能性がある。また、マスクパターンにおける幅が $2 \times \lambda/NA$ 以下の部分においては該部分の両側からの2つのサイドローブのピークが重なり合うので、オーバー露光を行なうと、その部分の光強度によってレジスト膜が感光してしまう可能性がある。しかし、前述の輪郭強調法の原理のところでも述べたように、半遮光部を用いているマスクパターン内においては、位相シフター同士の間隔が $0.8 \times \lambda/NA$ 以上であれば、言い換えると、マスクパターンの幅が $0.8 \times \lambda/NA$ 以上であれば、半遮光部による残留光強度に相当する光を打ち消すための位相シフターを任意の位置に配置できる。第3の実施形態においては、この原理を利用して、開孔部間の間隔が $2 \times \lambda/NA$ 以下の領域に、半遮光部による残留光強度と釣り合う位相シフターを配置することによって、サイドローブのピークが重なり合う領域における光強度を全て打ち消すことができる。同様に、マスクパターンにおける幅が $0.8 \times \lambda/NA$ を超えている部分（但し輪郭強調法に基いて位相シフターを配置した後においても）に、半遮光部による残留光強度と釣り合う位相シフターを配置するこ

とによって、サイドローブのピークが重なり合う領域における光強度を全て打ち消すことができる。すなわち、ステップS 1 7により、ステップS 1 1～S 1 6によって作成されたマスクパターンを用いて露光を行なうときのオーバー露光マージンを拡大できる。図19(c)は、図19(b)に示すマスクパターンにおける $2 \times \lambda / NA$ 以下の間隔で開口部に挟まれた領域に、サイドローブ低減用位相シフターが挿入された様子を示している。また、図21(c)は、図21(b)に示すマスクパターンにおける幅が $0.8 \times \lambda / NA$ を超えている部分（輪郭強調法の適用後）に、サイドローブ低減用位相シフターが挿入された様子を示している。

最後に、ステップS 1 8において、ステップS 1 1からステップS 1 7までの工程によって作成されたマスクパターンを出力する。以上のステップS 1 1からステップS 1 8までの工程によって、微細パターンを高精度に形成でき、且つパターン形成時の露光マージンが優れたマスクパターンの作成を行なうことができる。尚、ここまで、マスクパターンを構成する遮光部の全てが半遮光部であることを前提としてきたが、中心線強調法のために挿入された位相シフター、及び、輪郭強調法が適用された開口部のそれぞれから十分な距離（つまり光の干渉影響を無視できる距離である $2 \times \lambda / NA$ よりも大きな距離）離れた領域は、完全遮光部としてもよいことは言うまでもない。図19(d)は、図19(c)に示すマスクパターンにおける位相シフター及び開口部から十分離れた領域が、完全遮光部として設定された様子を示している。

以上に説明したように、第3の実施形態によると、レジスト膜を感光させない程度に弱い光を透過させる半遮光部を用いてマスクパターンを形成することにより、マスクパターンの任意の位置における光強度のコントラストを強調できる位相シフターの挿入が可能となった。但し、挿入される位相シフター同士を所定の寸法以上離しておく必要がある。これにより、任意の開口形状を有するレジストパターンの形成に中心線強調法及び輪郭強調法の適用が可能となる。言い換える

と、マスクパターンと対応する遮光像における光強度分布のコントラストをパターンの疎密に関わらず斜入射露光によって強く強調できるため、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に形成できる。

また、第3の実施形態によると、微細パターンの形成が可能なマスクパターンを実現できると共に、近接効果補正を適用する際に低いMEEFでパターン寸法の調整が可能なマスクパターンをも実現できる。さらに、マスクパターンの任意の位置に位相シフターを挿入できるので、サイドローブの発生を抑制でき、それにより、パターン形成時の露光マージンが高いマスクパターンの形成も可能となる。

また、第3の実施形態によると、半遮光部と位相シフターとを有するマスクパターンにおいて、所定の幅以下の部分には中心線強調法に従って位相シフターを配置すると共に、所定の幅を越える部分には輪郭強調法に従って位相シフターを配置する。このため、任意の形状のマスクパターンによって露光時に非常にコントラストの強い像を形成できる。よって、このようなマスクパターンが設けられたフォトマスクを用いて、レジストが塗布された基板に対して露光を行なうことによって、微細なレジストパターンの形成が可能となる。また、このフォトマスクに対して斜入射照明を用いて露光を行なうことによって、フォーカス変動に対してパターン寸法の変動が生じにくい微小パターン形成が可能となる。

図22は、マスクパターンの線幅に応じて中心線強調法又は輪郭強調法を実現するための位相シフターの挿入方法をまとめて示している。図22に示すように、所定の線幅を越えるマスクパターンに対しては中心線強調法が適用される一方、所定の線幅以下のマスクパターンに対しては輪郭強調法が適用されることになる。ここで、所定の線幅としては $0.8 \times \lambda / NA$ を基準に選ぶことが好ましいが、それ以下の値に設定してもかまわない。また、図22に示すように、中心線強調法においては、マスクパターン線幅が太いほどマスクパターン内部に挿入される位相シフターが細くなり、マスクパターン線幅が細くなるほどマスクパター

ン内部に挿入される位相シフターは太くなる。この位相シフターの線幅の最適方法を求める方法については前述の通りである。尚、中心線強調法が適用される場合、位相シフターのみでマスクパターンが構成されることもある。

一方、図22に示すように、輪郭強調法においては、所定の線幅を越えるマスクパターンの周縁部に位相シフターが挿入されることになる。このときの位相シフターの線幅は、位相シフター内を透過する光が過剰状態にならないのであれば、マスクパターンの線幅に依存することなく全てのマスクパターンにおいて一定の値となってもよい。すなわち、中心線強調法を適用すべきか、又は輪郭強調法を適用すべきかは、マスクパターンの線幅に基づいて一意的に決定できる。

ところで、半遮光部を使用していることに起因して、所定の寸法のマスクパターンにおいてはサイドローブ現象が顕著に発生する。しかし、そのような条件にあるマスクパターンに対しては、前述のように、半遮光部による残存光強度と釣り合う位相シフターを任意に挿入できるマスクパターンとなるため、図22に示すように、例えばマスクパターンの中心にサイドローブ低減用位相シフターを挿入すればよい。この場合、マスクパターンにおける位相シフターの配置だけを見ると、同じマスクパターンに対して輪郭強調法と中心線強調法とが同時に適用された状態となる。また、サイドローブ現象が最大になる寸法よりも十分に大きい寸法のマスクパターンにおいては、マスクパターン中心にサイドローブ低減用位相シフターを挿入するか否かは任意に決められる。尚、図22に示す例では、マスクパターンの寸法が十分に大きい場合、サイドローブ低減用位相シフターの挿入を省略するものとして扱っている。

第4の実施形態

以下、本発明の第4の実施形態に係るフォトマスク及びその作成方法について図面を参照しながら説明する。

図23は、第4の実施形態に係るフォトマスク、具体的には、本発明の中心線

強調法を実現するためのラインパターン形成用マスク部分と、本発明の輪郭強調法を実現するためのコンタクトパターン形成用マスク部分（マスクパターンによって透光部（開口部）が囲まれている）とを有するフォトマスクの平面図である。また、図24（a）～（f）はそれぞれ、図23におけるAA'線の断面図を示している。すなわち、図23に示すような平面構成を有するフォトマスクの実現方法としては、基本的に、図24（a）～（f）に示す6つのタイプがある。但し、図24（a）～（f）に示す断面構成は基本タイプであって、これらを組み合わせた断面構成を有するフォトマスクも実現可能である。以下、図24（a）～（f）に示す基本タイプのフォトマスクの作成方法について説明する。

図24（a）に示すタイプにおいては、透過性基板10におけるマスクパターン形成領域の上に、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる第1の位相シフター膜11が形成されている。また、第1の位相シフター膜11における半遮光部形成領域の上に、第1の位相シフター膜11を基準として露光光を反対位相で透過させる第2の位相シフター膜12が形成されている。これによって、第2の位相シフター膜12と第1の位相シフター膜11との積層構造よりなる半遮光部が形成されると共に、第1の位相シフター膜11の単層構造よりなる位相シフターが形成される。この第2の位相シフター膜12と第1の位相シフター膜11との積層構造よりなる半遮光部は、透光部を基準として露光光を同位相で透過させる。つまり、図24（a）に示すタイプにおいては、透光部を透過する光を基準として、透過する光の位相をそれぞれ反転させる位相シフター膜の積層膜を加工することによって、位相シフターと半遮光部とから構成される所望のマスクパターンが実現されている。また、位相シフター膜の積層膜によって、露光光の一部分を透過させる透過率を有する半遮光部が実現されている。

図24（b）に示すタイプにおいては、透過性基板20における半遮光部形成領域の上に、露光光の一部分を透過させる透過率を持ち且つ透光部を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光膜21が形成されている。すなわち、半遮光

膜 2 1 よりなる半遮光部が形成されている。また、透過性基板 2 0 における位相シフター形成領域を所定の厚さだけ掘り下げることにより、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターが形成されている。すなわち、図 2 4 (b) に示すタイプにおいては、透光部と比べてほとんど位相差を生じない半遮光膜 2 1 と、透過性基板 2 0 の掘り込み部分とを組み合わせることによって、半遮光部と位相シフターとから構成される所望のマスクパターンが実現されている。

図 2 4 (c) に示すタイプにおいては、透過性基板 3 0 における半遮光部形成領域の上に、位相シフターを基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフター膜 3 1 が形成されている。また、透過性基板 3 0 における透光部形成領域が所定の厚さだけ掘り下げられ、それにより、位相シフターを基準として露光光を反対位相で透過させる透光部が形成されている。すなわち、図 2 4 (c) に示すタイプにおいては、これまで透光部と定義してきた部分が透過率の高い位相シフターと置き換えられ、位相シフターと定義してきた部分が透光部と置き換えられ、半遮光部と定義してきた部分が、露光光の一部分を透過させる透過率を有する位相シフターと置き換えられたフォトマスクが実現されている。このとき、図 2 4 (c) に示すフォトマスクの各構成要素間の相対位相差の関係は、図 2 4 (a) 、図 2 4 (b) 及び図 2 4 (d) ~ (f) のそれぞれに示す他のタイプのフォトマスクと同じである。

図 2 4 (d) に示すタイプにおいては、透過性基板 4 0 における半遮光部形成領域の上に、露光光の一部分を透過させる透過率を持ち且つ透光部を基準として露光光を同位相で透過させる薄膜化された遮光膜 4 1 が形成されている。すなわち、遮光膜 4 1 よりなる半遮光部が形成されている。また、透過性基板 4 0 における位相シフター形成領域を所定の厚さだけ掘り下げることにより、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターが形成されている。ここで、通常の金属膜を薄膜化することによっても、露光光の一部分を透過させる透過

率を有する遮光膜 41 を形成できる。遮光膜 41 を透過する光は、遮光膜 41 が薄膜化されているため、位相変化は僅かである。尚、半遮光部を透過する光の位相が、透光部を透過する光に対して位相差を有すると、半遮光部を用いたマスクパターンによって形成される光の像において僅かに焦点位置がずれる。しかし、この位相差が 30 度程度までであれば、焦点位置のずれに対する影響は皆無に等しい。よって、遮光膜 41 として、薄膜化した金属膜等を用いることにより、透光部を基準としてほぼ同じ位相の光を弱く透過させる半遮光部を実現できる。すなわち、図 24 (d) に示すタイプにおいては、図 24 (b) に示すタイプと同様の効果が得られる。また、透光部を比べてほとんど位相差を生じない半遮光膜として、薄膜化された遮光膜を代用できるので、位相制御用の透過性厚膜を使用することなく、位相シフターと半遮光部とから構成される所望のマスクパターンを簡単に実現できる。

図 24 (e) に示すタイプにおいては、透過性基板 50 におけるマスクパターン形成領域の上に、露光光の一部分を透過させる透過率を持ち且つ透光部を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光膜 51 が形成されている。また、半遮光膜 51 における位相シフター形成領域を所定の厚さだけ掘り下げることにより、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターが形成されている。言い換えると、半遮光膜 51 の非掘り下げ部分よりなる半遮光部が形成されていると共に半遮光膜 51 の掘り下げ部分よりなる位相シフターが形成されている。すなわち、図 24 (e) に示すタイプにおいては、透光部を透過する光を基準として透過する光の位相を反転させる位相シフターを、半遮光膜 51 の掘り下げ部分を用いて作成することにより、位相シフターと半遮光部とから構成される所望のマスクパターンが実現される。

図 24 (f) に示すタイプにおいては、透過性基板 60 におけるマスクパターン形成領域の上に、露光光の一部分を透過させる透過率を持ち且つ透光部を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光膜 61 が形成されている。また、半遮

光膜 6 1 における位相シフター形成領域の上に、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフター膜 6 2 が形成されている。これによって、半遮光膜 6 1 の単層構造よりなる半遮光部が形成されると共に、半遮光膜 6 1 と位相シフター膜 6 2 との積層構造よりなる位相シフターが形成される。すなわち、図 2 4 (f) に示すタイプにおいては、半遮光膜 6 1 の上に位相シフター膜 6 2 を積層することによって、位相シフターと半遮光部とから構成される所望のマスクパターンが実現される。

第 5 の実施形態

以下、本発明の第 5 の実施形態に係るパターン形成方法、具体的には第 1 ～ 第 4 の実施形態のいずれかに係るフォトマスク（以下、本発明のフォトマスク）を用いたパターン形成方法について図面を参照しながら説明する。前述のように、本発明のフォトマスク、つまり輪郭強調法又は中心線強調法が成り立つように作成されたフォトマスクを用いて露光を行なうことにより、微小パターンの形成が可能となる。また、例えば、図 2 3 に示すようなフォトマスクに対して露光を行なってウェハ上にパターンの縮小転写を行なう場合、輪郭強調法の原理及び中心線強調法の原理で説明したように、輪郭強調法を実現するマスク部分（輪郭強調マスク）についても中心線強調法を実現するマスク部分（イメージ強調マスク）についても斜入射露光を行なうことによって、コントラストの高い像を形成できる。また、これによって、フォーカス変動に対してパターン寸法が変動しにくいパターン形成を実現できる。

図 2 5 (a) ～ (d) は、本発明のフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

まず、図 2 5 (a) に示すように、基板 1 0 0 上に、金属膜又は絶縁膜等の被加工膜 1 0 1 を形成した後、図 2 5 (b) に示すように、被加工膜 1 0 1 の上に、ポジ型のレジスト膜 1 0 2 を形成する。

次に、図 25 (c) に示すように、本発明のフォトマスク、例えば、図 24 (a) に示すタイプのフォトマスク（但し図 25 (c) ではコンタクトパターン形成用マスク部分のみを図示している）に対して露光光 103 を照射し、該フォトマスクを透過した透過光 104 によってレジスト膜 102 を露光する。尚、図 25 (c) に示す工程で用いるフォトマスクの透過性基板 10 上には、第 1 の位相シフター膜 11 と第 2 の位相シフター膜 12 との積層構造よりなる半遮光部と、第 1 の位相シフター膜 11 の単層構造よりなる位相シフターとからなるマスクパターンが設けられている。このマスクパターンは、所望のパターン（レジスト除去パターン）と対応する開口部（透光部）を囲んでいる。すなわち、図 25 (c) に示す露光工程では、この輪郭強調法を実現するフォトマスクを介して、斜入射露光光源を用いてレジスト膜 102 に対して露光を行なう。このとき、低い透過率を有する半遮光部がマスクパターンに用いられているため、レジスト膜 102 の全体が弱いエネルギーで露光される。しかし、図 25 (c) に示すように、現像工程でレジストが溶解するに足る露光エネルギーが照射されるのは、レジスト膜 102 におけるフォトマスクの開口部と対応する潜像部分 102 a のみである。

次に、図 25 (d) に示すように、レジスト膜 102 に対して現像を行なって潜像部分 102 a を除去することにより、レジストパターン 105 を形成する。このとき、図 25 (c) に示す露光工程において、開口部とそれを囲む領域との間の光強度分布のコントラストが高いため、潜像部分 102 a とそれを囲む領域との間のエネルギー分布も急激に変化するので、シャープな形状を有するレジストパターン 105 が形成される。

以上に説明したように、第 5 の実施形態によると、パターン形成に、半遮光部と位相シフターとから構成されるマスクパターンを有する本発明のフォトマスクを用いる。ここで、該フォトマスクの透光部の近傍には輪郭強調法に従って位相シフターが配置されており、マスクパターンにおける所定の寸法以下で透光部に

挟まれた領域には中心線強調法に従って位相シフターが配置されている。このため、透光部の周辺部又はマスクパターンの微小幅部分における光強度分布のコントラストをパターンの疎密に関わらず斜入射露光によって強く強調できる。よって、本発明のフォトマスクを用いて、レジストが塗布された基板に対して露光を行なうことにより、微細なレジストパターンの形成が可能となる。また、このフォトマスクに対して斜入射照明を用いて露光を行なうことによって、フォーカス変動に対してパターン寸法の変動が生じにくい微小パターン形成が可能となる。

尚、第5の実施形態において、輪郭強調法が成り立つフォトマスクを用いた露光をポジ型レジストプロセスにおいて実施する場合を例として説明を行なったが、言うまでもなく本発明はこれに限られるものではない。すなわち、中心線強調法が成り立つフォトマスク、若しくは輪郭強調法と中心線強調法とが成り立つフォトマスクを用いた露光をポジ型レジストプロセスにおいて実施してもよい。或いは、輪郭強調法及び中心線強調法の少なくとも一方が成り立つフォトマスクを用いた露光をネガ型レジストプロセスにおいて実施してもよい。ここで、ポジ型レジストプロセスを用いる場合、露光光を照射されたポジ型レジスト膜を現像して、ポジ型レジスト膜におけるマスクパターンと対応する部分以外の他の部分を除去することにより、マスクパターン形状のレジストパターンを形成できる。また、ネガ型レジストプロセスを用いる場合、露光光を照射されたネガ型レジスト膜を現像して、ネガ型レジスト膜におけるマスクパターンと対応する部分を除去することにより、マスクパターン形状の開口部を有するレジストパターンを形成できる。

第6の実施形態

以下、本発明の第6の実施形態に係るフォトマスク及びそのマスクデータ作成方法について図面を参照しながら説明する。尚、以下に説明するマスクデータ作成方法はいずれも、本発明の中心線強調法又は本発明の輪郭強調法によって位相

シフターが挿入されたマスクパターンから、パターン転写時にパターン形状が変形しやすい所定の形状部分を抽出し、該形状部分が所望の形状となるように位相シフターの挿入、変形又は消去を行なうものである。すなわち、本実施形態のマスクデータ作成方法を、例えば第3の実施形態に係るマスクデータ作成方法と組み合わせて実施することにより、パターン線幅又はパターン間隔の微細化に加えて、所望の形状を有するパターンの形成が可能となる。

具体的には、パターン転写時にパターン形状が変形しやすい形状部分として、例えば図26(a)に示すような、所定寸法よりも細いラインパターンの端部がある。通常、このようなラインパターンと対応するマスクパターンの端部は遮光効果が悪いので、パターン形成時にはラインの長さが減少する。これは、ライン端部の後退と呼ばれる現象である。このようなライン端部が後退する現象に対して、単純にマスクパターンの長さを伸ばして変形補償することもできる。また、パターン形成時にライン長を露光量変動やフォーカス変動に対して安定させる別の方法として、マスクパターンのライン端幅を太くする方法がある。これは通常の完全遮光膜よりなるマスクパターンを用いた方法でも行われている方法であって、ライン端を太くした形状はハンマーヘッドパターンと呼ばれている。本発明の中心線強調法によれば、マスクパターンにおける遮光効果が減少する部分にさらに大きな位相シフターを挿入することによって遮光効果を向上させることができる。すなわち、マスクパターンにおいて、ライン中央よりも遮光効果が劣化するライン端で、より太い位相シフターを用いることによって高い遮光性を実現できる。よって、図26(a)に示すように、ライン端を位相シフターよりなるハンマーヘッドパターンに変形してもよい。

図26(a)に示す変形補償方法に代えて、さらに汎用性の高い変形補償方法として、図26(b)に示すように、ライン端に対して輪郭強調法を応用することもできる。具体的には、ラインパターンを形成するためのマスクパターンに対して、その両端から所定の距離以内の領域におけるライン方向と平行な周辺部に

位相シフターを配置する。このようにすると、ラインパターンが孤立して存在する場合には、ライン端部の特性がハンマーヘッドパターンの特性とほぼ同じものとなる。

ところで、図26(b)に示す方法によれば、ラインパターンの端が他のパターンと近接して存在する場合、両パターン間のスペース形成において特にMEEFの低減に格別の効果があり、それによりパターンブリッジ等の致命的なパターン変形を防ぐために非常に優れた効果が得られる。以下、ラインパターンの端部が他のパターンと近接する場合における変形補償方法について説明する。

まず、図26(c)に示すように、ラインパターンの端同士が近接する場合、各ラインパターンを形成するためのマスクパターンにおける各ライン端の変形を行なう。このような場合にはライン端同士がブリッジしないように且つライン端間のスペースが最小になるようにパターン形成を行なう必要がある。本発明の図26(c)に示す変形補償方法を用いることによって、同じ目標パターン寸法におけるMEEFの値が大幅に低減されている。

次に、図26(d)に示すように、一のラインパターンの端と、中心線強調法が適用されるくらい細い他のラインパターンとが近接する場合、一のラインパターンを形成するための一のマスクパターンにおけるライン端の変形方法は図26(b)と同様である。一方、他のラインパターンを形成するための他のマスクパターンに対しては、一のマスクパターンの近傍部分における一のマスクパターン側の端から所定寸法以内に配置された位相シフターを半遮光部に変更する。このとき、他のマスクパターンの中心線上に挿入された位相シフターにおける一のマスクパターンの近傍部分のみを、一のマスクパターンの反対側の端に移動させてもよい。図26(d)に示す場合は、位相シフターの所定部分を半遮光部に変更した例である。この場合、結果的には位相シフターの幅を縮小したようになる。本発明の図26(d)に示す変形補償方法を用いることによって、同じ目標パターン寸法におけるMEEFの値が大幅に低減される。

次に、図 2 6 (e) に示すように、一のラインパターンの端と、輪郭強調法が適用されるくらい太い他のラインパターンとが近接する場合、一のラインパターンを形成するための一のマスクパターンにおけるライン端の変形方法は図 2 6 (b) と同様である。一方、他のラインパターンを形成するための他のマスクパターンに対しては、一のマスクパターンの近傍部分に配置された位相シフターを半遮光部に変更する。このとき、他のマスクパターンにおいて、一のマスクパターンの近傍部分に配置された位相シフターをより内側に移動させてもよい。図 2 6 (e) に示す場合は、他のマスクパターンにおいて位相シフターの所定部分をより内側に移動させた例であるが、この場合の効果は、位相シフターの所定部分を半遮光部に変更した場合と実質的に同じである。本発明の図 2 6 (e) に示す変形補償方法を用いることによって、同じ目標パターン寸法における M E E F の値が大幅に低減される。

以上のように、図 2 6 (a) ~ (e) に示す本実施形態の変形補償方法が適用されたマスクパターンを用いてパターン形成を行なうと、M E E F が大幅に低減されるため、マスク作成時の寸法誤差に対するマージンを小さくできるので、より微細なパターンの形成が可能となる。

尚、パターン転写時にパターン形状が変形しやすい形状部分としては、前述のようなラインパターンの端部の他にも、例えば図 2 7 (a) に示すような、中心線強調法が適用されるくらい細いラインから構成された L 型コーナーパターンがある。この場合の変形補償方法としては、図 2 7 (a) に示すように、マスクパターンにおける L 型コーナーの屈曲点（マスクパターンの輪郭線が折れ曲がっている箇所）から所定の寸法以内の領域に、中心線強調用の位相シフターに代えて半遮光部を配置する。このとき、該領域の中心線強調用の位相シフターの寸法を縮小してもよい。また、マスクパターンにおける L 型コーナーの外側の周縁部に、コーナー強調用の位相シフターを配置してもよい。尚、コーナー強調用の位相シフターは輪郭強調用の位相シフターと同じように見えるが、コーナー強調のた

めに、輪郭強調用の位相シフターが本来配置される位置よりも若干外側に配置されるものである。一方、図27(b)に示すような、輪郭強調法が適用されるくらい太いラインから構成されたL型コーナーパターンの場合、マスクパターンの周縁部におけるL型コーナーの内側の屈曲点から所定の寸法以内の領域に輪郭強調用の位相シフターに代えて半遮光部を配置する。このとき、該領域の輪郭強調用の位相シフターの寸法を縮小してもよい。また、マスクパターンの周縁部におけるL型コーナーの外側の屈曲点から所定の寸法以内の領域に、輪郭強調用の位相シフターに代えて前述のコーナー強調用の位相シフターを配置してもよい。

図27(a)及び(b)に示す変形補償方法は、マスクパターンにおける遮光効果が強いコーナー内側の強調パターン(位相シフター)を消去すると共に、マスクパターンにおける遮光効果の弱いコーナー外側の強調パターンを変形するものである。図27(a)及び図27(b)に示す本実施形態の変形補償方法によって、目的とするパターン形状に近い形状が得られる。その理由は、マスクパターンにおける遮光性が過剰となるコーナー部から位相シフターが除去されているために、遮光バランスが改善されるからである。

また、パターン転写時にパターン形状が変形しやすい形状部分の他の例として、例えば図27(c)に示すような、中心線強調法が適用されるくらい細いラインから構成されたT型コーナーパターンがある。この場合の変形補償方法としては、図27(c)に示すように、マスクパターンにおけるT型コーナーの屈曲点から所定の寸法以内の領域に、中心線強調用の位相シフターに代えて半遮光部を配置する。このとき、該領域の中心線強調用の位相シフターの寸法を縮小してもよい。また、マスクパターンの周縁部におけるT型コーナーの分岐の反対側に輪郭強調用の位相シフターを配置してもよい。一方、図27(d)に示すような、輪郭強調法が適用されるくらい太いラインから構成されたT型コーナーパターンの場合、マスクパターンの周縁部におけるT型コーナーの屈曲点から所定の寸法以内の領域に、輪郭強調用の位相シフターに代えて半遮光部を配置する。このと

き、該領域の輪郭強調用の位相シフターの寸法を縮小してもよい。また、マスクパターンの周縁部におけるＴ型コーナーの分岐の反対側に、輪郭強調用の位相シフターに代えてコーナー強調用の位相シフターを配置してもよい。

図２７（ｃ）及び（ｄ）に示す変形補償方法は、マスクパターンにおける遮光効果が強いコーナー内側の強調パターンを消去すると共に、マスクパターンにおける遮光効果の弱いコーナー外側の強調パターンを変形するものである。図２７（ｃ）及び図２７（ｄ）に示す本実施形態の変形補償方法によって、目的とするパターン形状に近い形状が得られる。その理由は、マスクパターンにおける遮光性が過剰となるコーナー部から位相シフターが除去されているために、遮光バランスが改善されるからである。

さらに、パターン転写時にパターン形状が変形しやすい形状部分の他の例として、例えば図２７（ｅ）に示すような、中心線強調法が適用されるくらい細いラインから構成されたクロス型コーナーパターンがある。この場合の変形補償方法としては、図２７（ｅ）に示すように、マスクパターンにおけるクロス型コーナーの屈曲点から所定の寸法以内の領域に、中心線強調用の位相シフターに代えて半遮光部を配置する。このとき、該領域の中心線強調用の位相シフターの寸法を縮小してもよい。一方、図２７（ｆ）に示すような、輪郭強調法が適用されるくらい太いラインから構成されたクロス型コーナーパターンの場合、マスクパターンの周縁部におけるクロス型コーナーの屈曲点から所定の寸法以内の領域に、輪郭強調用の位相シフターに代えて半遮光部を配置する。このとき、該領域の輪郭強調用の位相シフターの寸法を縮小してもよい。

図２７（ｅ）及び（ｆ）に示す変形補償方法は、マスクパターンにおける遮光効果が強いコーナー内側の強調パターンを消去するものである。図２７（ｅ）及び図２７（ｆ）に示す本実施形態の変形補償方法によって、目的とするパターン形状に近い形状が得られる。その理由は、マスクパターンにおける遮光性が過剰となるコーナー部から位相シフターが除去されているために、遮光バランスが改

善されるからである。

以上に説明したように、第6の実施形態によると、半遮光部と位相シフターとを有するマスクパターンにおいて、所定の幅以下の部分には中心線強調法に従って位相シフターを配置すると共に、所定の幅を越える部分には輪郭強調法に従って位相シフターを配置する。このため、任意の形状のマスクパターンによって露光時に非常にコントラストの強い像を形成できる。よって、このようなマスクパターンが設けられたフォトマスクを用いて、レジストが塗布された基板に対して露光を行なうことによって、微細なレジストパターンの形成が可能となる。また、このフォトマスクに対して斜入射照明を用いて露光を行なうことによって、フォーカス変動に対してパターン寸法の変動が生じにくい微小パターン形成が可能となる。

また、第6の実施形態によると、マスクパターンにおけるコーナー部分の内側等のように、通常の完全遮光パターンでは遮光効果が強くなりすぎる部分においても、半遮光部を用いることにより遮光効果を低減できる。すなわち、マスクパターンにおける遮光効果が過剰となる部分に、単純に中心線強調法又は輪郭強調法に従って遮光効果強調用の位相シフターを挿入してしまうことをしなければ、不要な遮光効果の発生を防止できる。従って、この効果を利用して、位相シフターの挿入を制限することにより、任意形状のパターンを目的の形状通りに作成することが容易になる。

尚、第6の実施形態において、輪郭強調法又は中心線強調法が成り立つフォトマスクを用いた露光をポジ型レジストプロセスにおいて実施する場合を例として説明を行なったが、言うまでもなく本発明はこれに限られるものではない。すなわち、輪郭強調法及び中心線強調法の少なくとも一方が成り立つフォトマスクを用いた露光をポジ型レジストプロセスにおいて実施してもよい。或いは、輪郭強調法及び中心線強調法の少なくとも一方が成り立つフォトマスクを用いた露光をネガ型レジストプロセスにおいて実施してもよい。ここで、ポジ型レジストプロ

セスを用いる場合、露光光を照射されたポジ型レジスト膜を現像して、ポジ型レジスト膜におけるマスクパターンと対応する部分以外の他の部分を除去することにより、マスクパターン形状のレジストパターンを形成できる。また、ネガ型レジストプロセスを用いる場合、露光光を照射されたネガ型レジスト膜を現像して、ネガ型レジスト膜におけるマスクパターンと対応する部分を除去することにより、マスクパターン形状の開口部を有するレジストパターンを形成できる。

請求の範囲

1. 露光光に対して透光性を有する透過性基板上に、前記露光光に対して遮光性を有するマスクパターンと、前記透過性基板における前記マスクパターンが形成されていない透光部とが設けられたフォトマスクであって、

前記マスクパターンは、

前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させる半遮光部と、

前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相シフターとから構成されており、

前記半遮光部は、前記露光光を部分的に透過させる透過率を有し、

前記位相シフターは、該位相シフターを透過した光によって、前記透光部及び前記半遮光部を透過した光の一部分を打ち消すことができる位置に設けられていることを特徴とするフォトマスク。

2. 請求項1において、

前記露光光に対する前記半遮光部の透過率は15%以下であることを特徴とするフォトマスク。

3. 請求項1において、

前記露光光に対する前記半遮光部の透過率は6%以上で且つ15%以下であることを特徴とするフォトマスク。

4. 請求項1において、

前記半遮光部は、前記透光部を基準として前記露光光を、 $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差で透過させると共に、前記位相シフターは、前記透光部を基準として前記露光光を、（

$150 + 360 \times n$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差で透過させることを特徴とするフォトマスク。

5. 請求項 1 において、

前記位相シフターは、前記マスクパターンにおける前記透光部との境界から $(0.8 \times \lambda / NA) \times M$ 以下の部分に配置されていることを特徴とするフォトマスク（但し、 λ は前記露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）。

6. 請求項 1 において、

前記位相シフターの幅は $(0.3 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク（但し、 λ は前記露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）。

7. 請求項 1 において、

前記マスクパターンは前記透光部を囲むように設けられおり、

前記位相シフターは、前記マスクパターンにおける前記透光部の近傍に、前記半遮光部と前記透光部とによって挟まれるように設けられていることを特徴とするフォトマスク。

8. 請求項 1 において、

前記マスクパターンは前記透光部を囲むように設けられおり、

前記位相シフターは、前記マスクパターンにおける前記透光部の近傍に、前記半遮光部によって囲まれるように設けられていることを特徴とするフォトマスク。

9. 請求項 1 において、

前記マスクパターンは前記透光部によって囲まれており、

前記位相シフターは前記半遮光部によって囲まれていることを特徴とするフォトマスク。

10. 請求項 9 において、

前記マスクパターンの幅は $(0.8 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク（但し、 λ は前記露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）。

11. 請求項 10 において、

前記位相シフターの幅は $(0.4 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク。

12. 請求項 1 において、

前記マスクパターンは、前記透光部によって囲まれたライン状パターンであり、

前記位相シフターは、前記マスクパターンのライン幅方向における中央部に、前記半遮光部によって挟まれるように設けられていることを特徴とするフォトマスク。

13. 請求項 12 において、

前記マスクパターンの幅は $(0.8 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク（但し、 λ は前記露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）。

14. 請求項13において、

前記位相シフターの幅は $(0.4 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク。

15. 請求項1において、

前記マスクパターンは、前記透光部によって囲まれたライン状パターンであり

、
前記位相シフターは、少なくとも前記マスクパターンのライン幅方向における両端部にそれぞれ、前記半遮光部を挟むように設けられていることを特徴とするフォトマスク。

16. 請求項1において、

前記マスクパターンは、前記透光部によって囲まれたライン状パターンであり

、
前記位相シフターは、前記マスクパターンのライン幅方向における両端部及び中央部にそれぞれ、前記半遮光部を挟むように設けられていることを特徴とするフォトマスク。

17. 請求項16において、

前記マスクパターンの幅は $(\lambda / NA) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク（但し、 λ は前記露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）。

18. 請求項17において、

前記位相シフターの幅は $(0.3 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク。

19. 請求項1において、

前記マスクパターンは、前記透光部によって囲まれたライン状パターンであり、

前記位相シフターは、前記マスクパターンのライン幅方向の両端部にそれぞれ、前記半遮光部によって囲まれるように設けられていることを特徴とするフォトマスク。

20. 請求項1において、

前記マスクパターンは、前記透光部によって囲まれたライン状パターンであり、

前記位相シフターは、前記マスクパターンのライン幅方向の両端部及び中央部にそれぞれ、前記半遮光部によって囲まれるように設けられていることを特徴とするフォトマスク。

21. 請求項1において、

前記透光部は、第1の透光部と第2の透光部とを有し、

前記マスクパターンは、前記第1の透光部及び前記第2の透光部を囲むように設けられており、

前記位相シフターは、前記第1の透光部と前記第2の透光部との間の中央部に設けられており、

前記半遮光部は、前記位相シフターの両側に設けられていることを特徴とするフォトマスク。

22. 請求項21において、

前記第1の透光部と前記第2の透光部との間隔は $(0.8 \times \lambda / NA) \times M$ 以

下であることを特徴とするフォトマスク（但し、 λ は前記露光光の波長であり、 NA 及び M はそれぞれ露光機の縮小投影光学系の開口数及び縮小倍率である）。

23. 請求項22において、

前記位相シフターの幅は $(0.4 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク。

24. 請求項1に記載のフォトマスクを用いたパターン形成方法であって、

基板上にレジスト膜を形成する工程と、

前記レジスト膜に前記フォトマスクを介して前記露光光を照射する工程と、

前記露光光を照射された前記レジスト膜を現像して、レジストパターンを形成する工程とを備えていることを特徴とするパターン形成方法。

25. 請求項24において、

前記露光光を照射する工程で斜入射照明法を用いることを特徴とするパターン形成方法。

26. 請求項1に記載のフォトマスクのマスクデータ作成方法であって、

前記フォトマスクを用いて形成しようとするパターンに基づいて前記マスクパターンの形状を決定すると共に前記半遮光部の透過率を設定する第1の工程と、

前記第1の工程よりも後に、前記マスクパターンにおける所定の寸法以下で前記透光部に挟まれた領域を抽出する第2の工程と、

前記第2の工程よりも後に、前記抽出された領域及び前記マスクパターンにおける前記透光部の近傍に前記位相シフターを挿入する第3の工程とを備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

27. 請求項26において、

前記第3の工程よりも後に、

前記位相シフターと前記透光部との間に所定の寸法以下の前記半遮光部を挿入する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

28. 請求項26において、

前記第3の工程よりも後に、

前記マスクパターンにおける所定の寸法以下で前記透光部に挟まれた領域に、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる他の位相シフターを挿入する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

29. 請求項28において、

前記他の位相シフターは、前記透光部を基準として前記露光光を、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差で透過させることを特徴とするマスクデータ作成方法。

30. 請求項26において、

前記第3の工程よりも後に、

前記マスクパターンの中から、所定の寸法以下の幅を有するライン状のパターン端部を抽出して、該抽出されたパターン端部におけるライン方向と平行な周縁部に他の位相シフターを挿入する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

31. 請求項26において、

前記第3の工程よりも後に、

前記マスクパターンの中からコーナーを抽出して、前記マスクパターンにおけ

る前記抽出されたコーナーの屈曲点から所定の寸法以内の領域に前記位相シフターが配置されている場合には、該位相シフターを前記半遮光部と置換するか又は該位相シフターの寸法を縮小する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

32. 請求項26において、

前記第3の工程よりも後に、

前記フォトマスクを用いて形成しようとする前記パターンが所望の寸法を有するように、前記位相シフターの寸法を固定した状態で前記半遮光部の寸法を補正する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

33. 請求項1に記載のフォトマスクのマスクデータ作成方法であって、

前記フォトマスクを用いて形成しようとするパターンに基づいて前記マスクパターンの形状を決定すると共に前記半遮光部の透過率を設定する第1の工程と、

前記第1の工程よりも後に、前記マスクパターンにおける幅が所定の寸法以下である領域を抽出する工程と、

前記第2の工程よりも後に、前記抽出された領域、及び前記マスクパターンにおける幅が前記所定の寸法を越える領域の周縁部に前記位相シフターを挿入する第3の工程とを備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

34. 請求項33において、

前記第3の工程よりも後に、

前記位相シフターと前記透光部との間に所定の寸法以下の前記半遮光部を挿入する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

35. 請求項33において、

前記第 3 の工程よりも後に、

前記マスクパターンにおける幅が所定の寸法を越える領域に、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる他の位相シフターを挿入する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

36. 請求項 35 において、

前記他の位相シフターは、前記透光部を基準として前記露光光を、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差で透過させることを特徴とするマスクデータ作成方法。

37. 請求項 33 において、

前記第 3 の工程よりも後に、

前記マスクパターンの中から、所定の寸法以下の幅を有するライン状のパターン端部を抽出して、該抽出されたパターン端部におけるライン方向と平行な周縁部に他の位相シフターを挿入する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

38. 請求項 33 において、

前記第 3 の工程よりも後に、

前記マスクパターンの中からコーナーを抽出して、前記マスクパターンにおける前記抽出されたコーナーの屈曲点から所定の寸法以内の領域に前記位相シフターが配置されている場合には、該位相シフターを前記半遮光部と置換するか又は該位相シフターの寸法を縮小する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

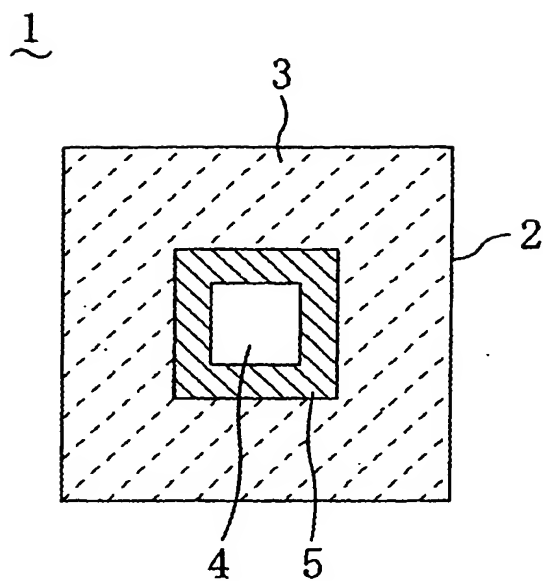
39. 請求項 33 において、

前記第 3 の工程よりも後に、

前記フォトリソマスクを用いて形成しようとする前記パターンが所望の寸法を有するように、前記位相シフターの寸法を固定した状態で前記半遮光部の寸法を補正する工程を備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

1/30

Fig. 1



2/30

Fig. 2(a)

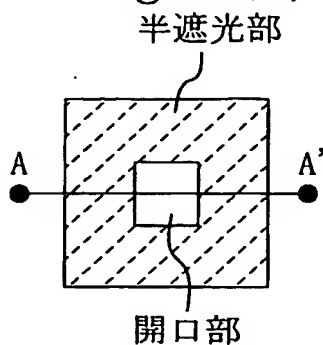


Fig. 2(b)

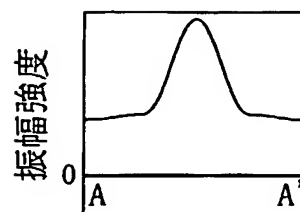


Fig. 2(c)

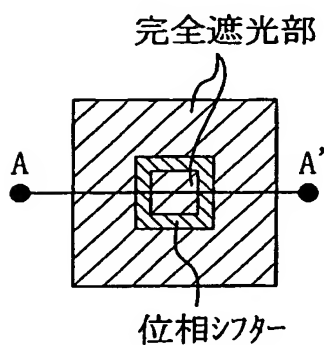


Fig. 2(d)

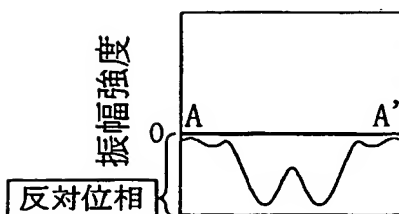


Fig. 2(e)

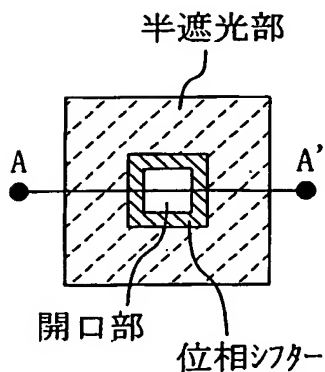


Fig. 2(f)

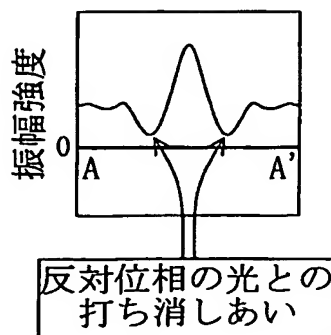


Fig. 2(g)

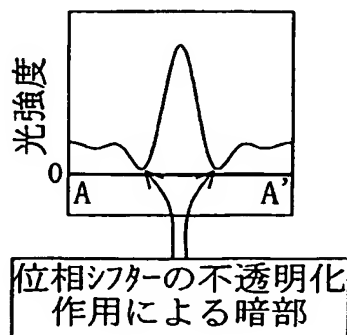


Fig. 3(a)

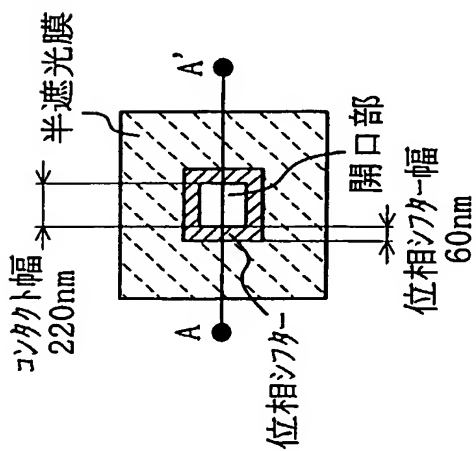


Fig. 3(b)

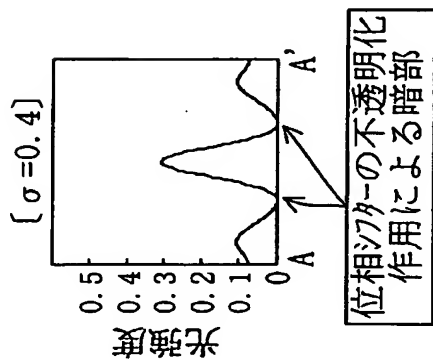


Fig. 3(c)

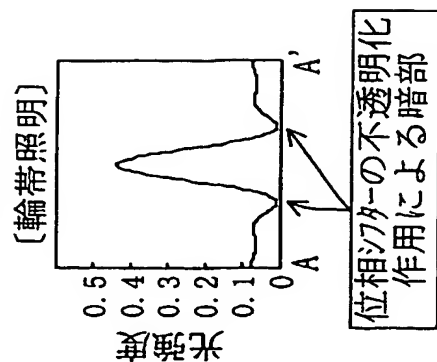


Fig. 3(d)

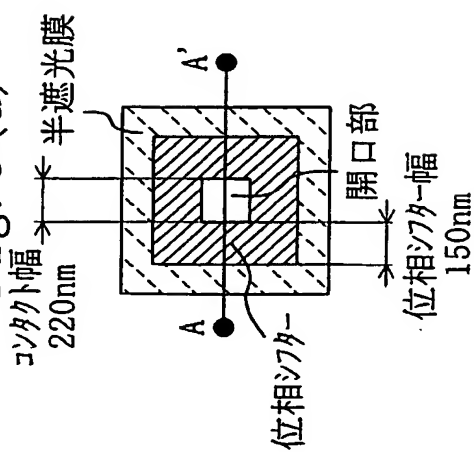


Fig. 3(e)

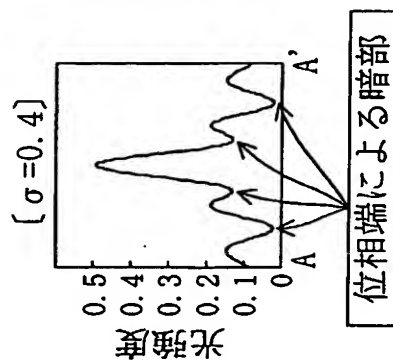


Fig. 3(f)

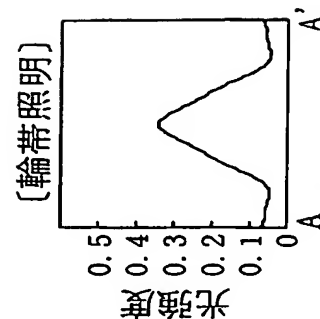


Fig. 4(a) Fig. 4(b) Fig. 4(c)

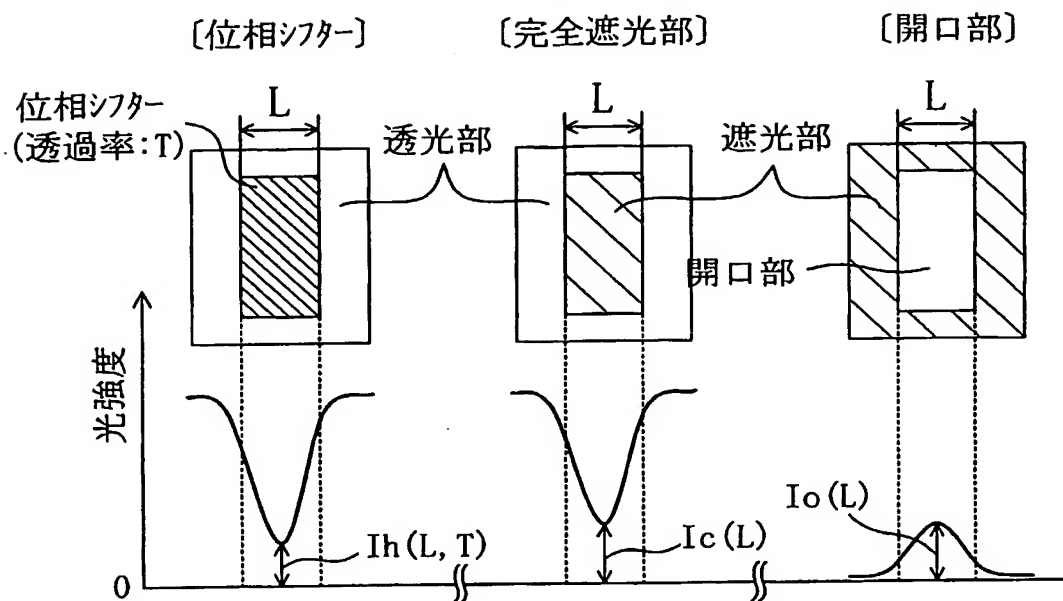


Fig. 4(d)

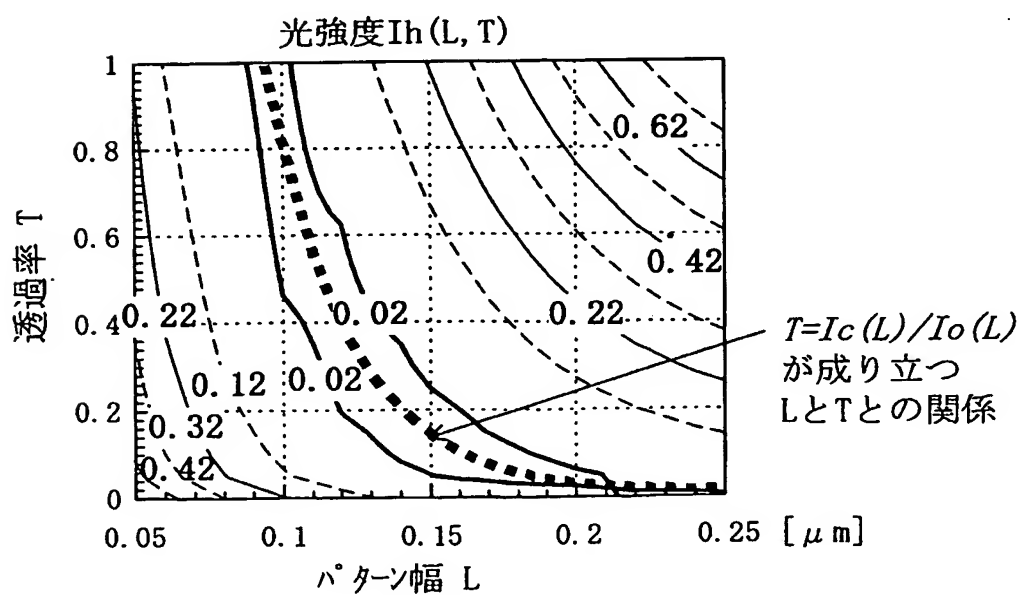


Fig. 5(a)

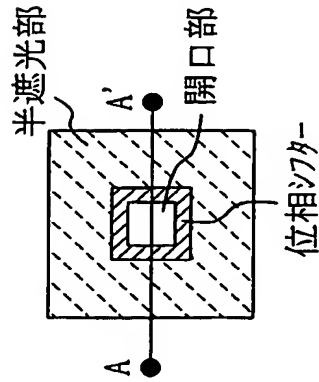


Fig. 5(b)

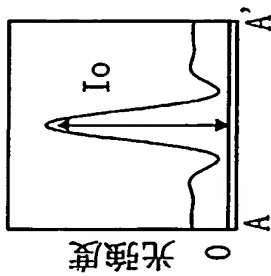


Fig. 5(c)

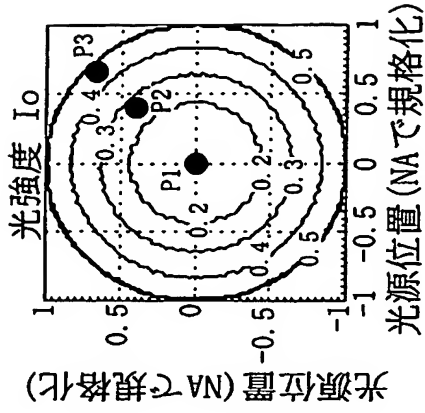


Fig. 5(d)

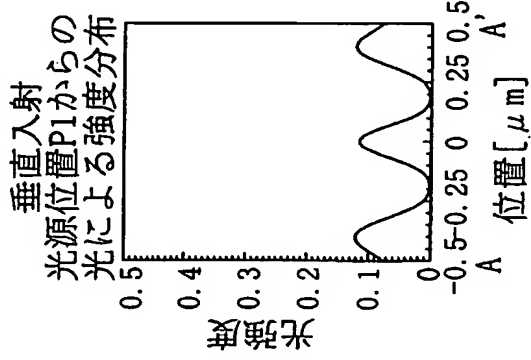


Fig. 5(e)

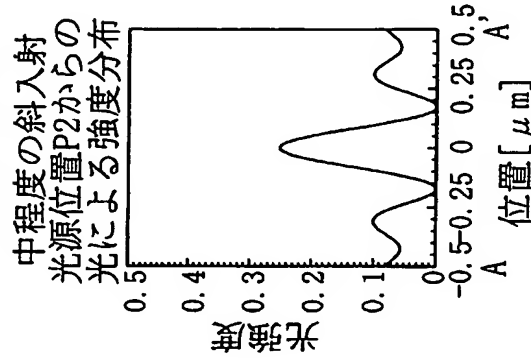
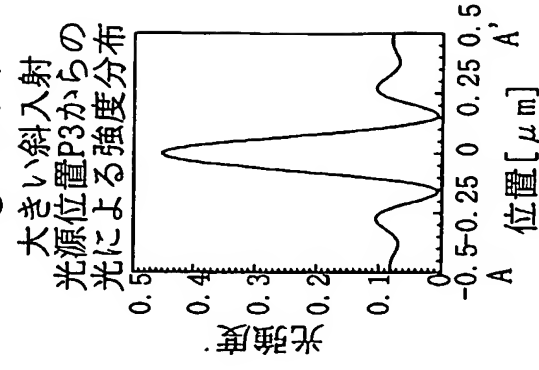
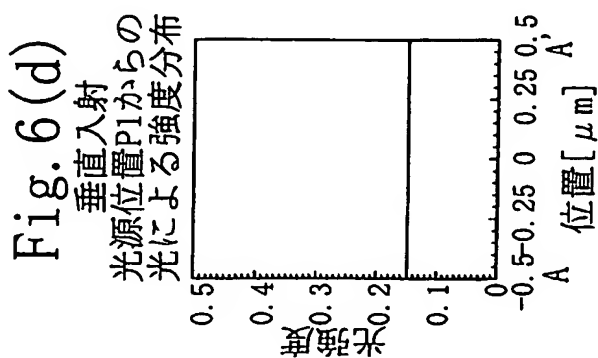
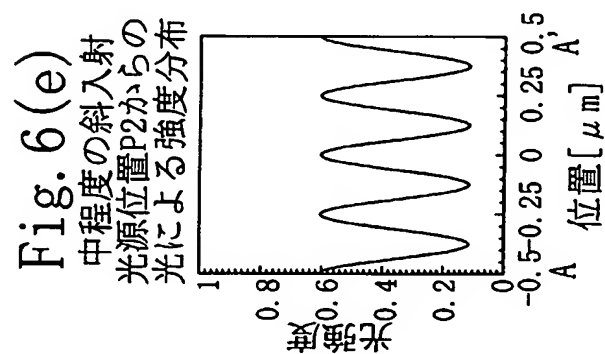
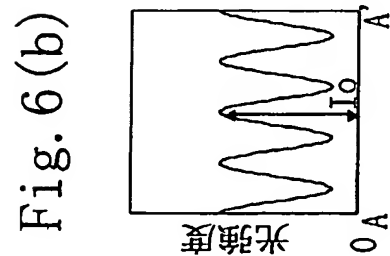
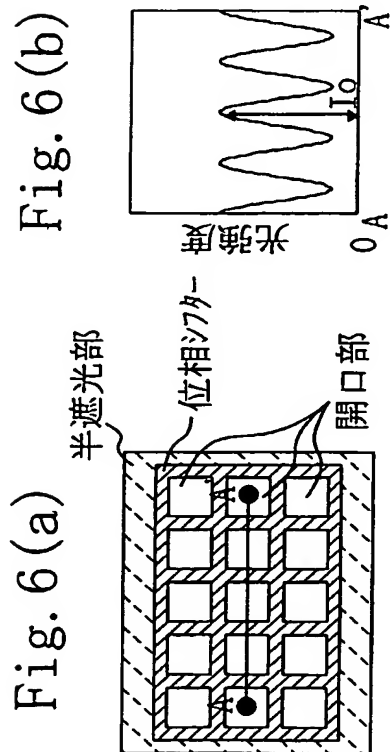
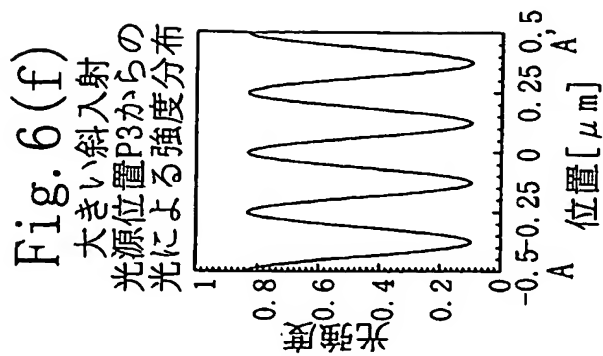
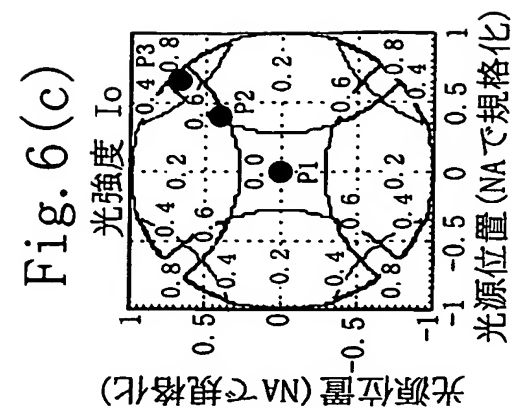


Fig. 5(f)



6/30



7/30

Fig. 7(a)

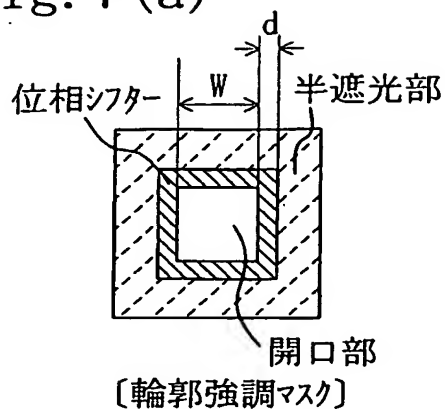


Fig. 7(b)

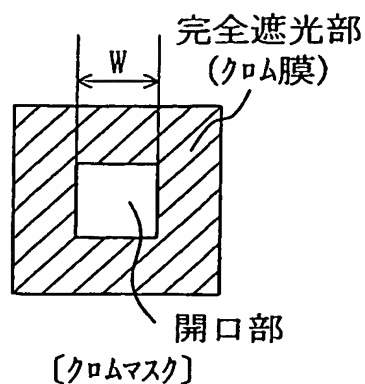


Fig. 7(c)

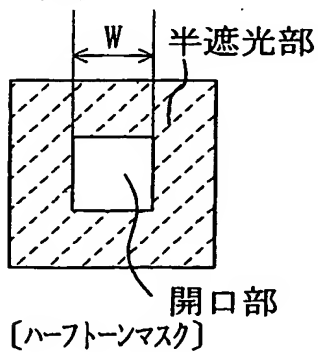


Fig. 7(d)

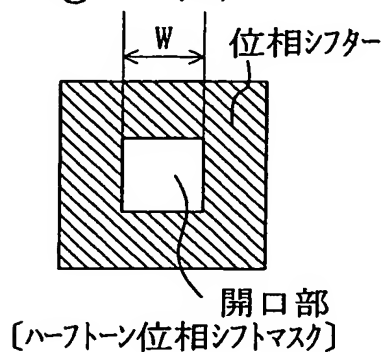
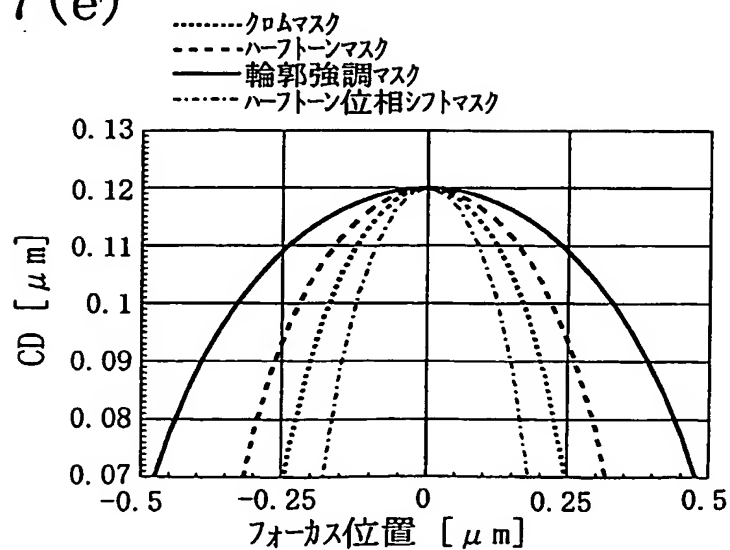


Fig. 7(e)



8/30

Fig. 8(a)

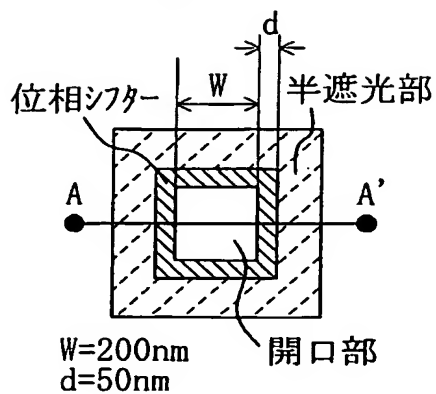


Fig. 8(b)

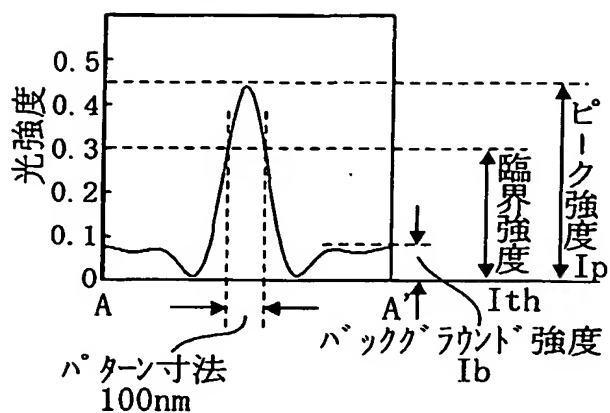


Fig. 8(c)

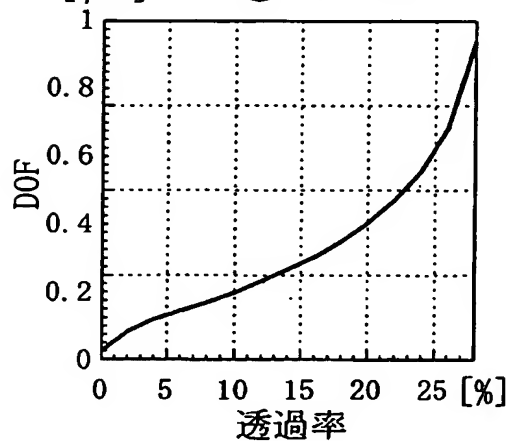


Fig. 8(d)

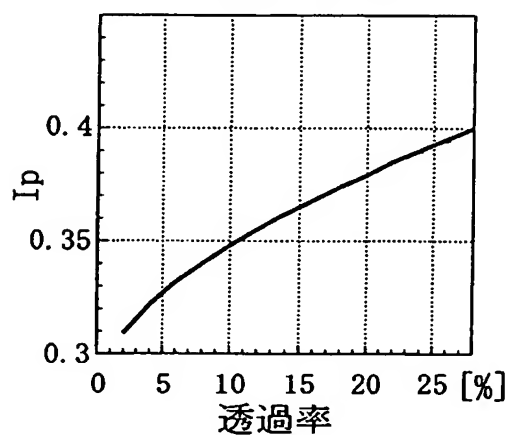


Fig. 8(e)

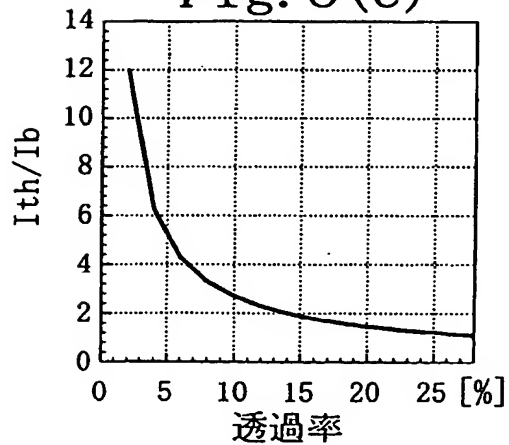
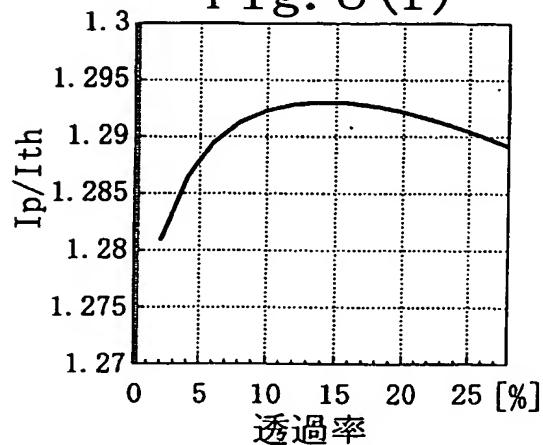


Fig. 8(f)



9/30

Fig. 9(a)

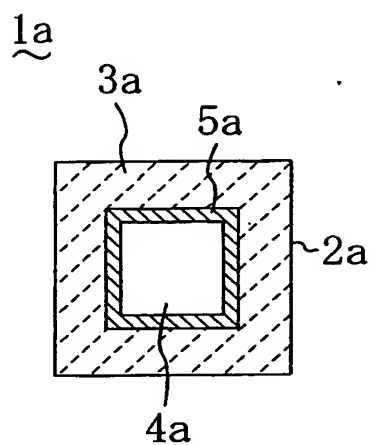


Fig. 9(b)

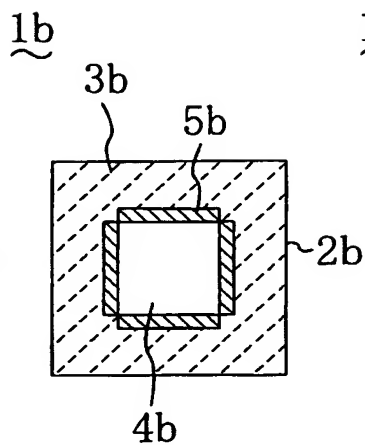


Fig. 9(c)

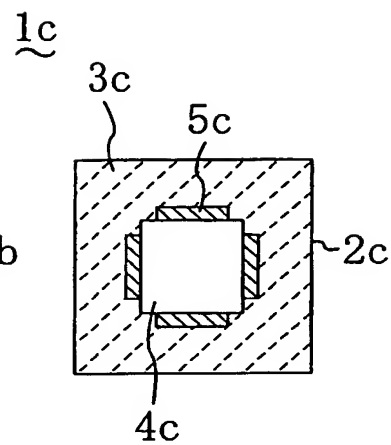


Fig. 9(d)

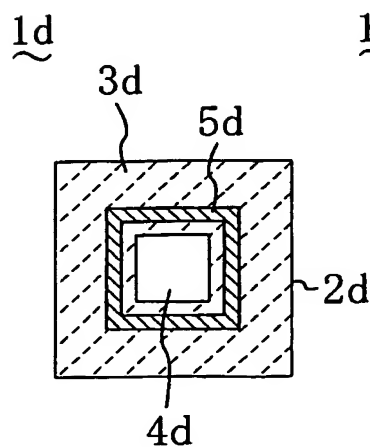


Fig. 9(e)

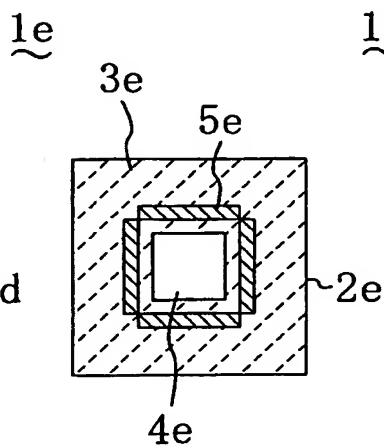
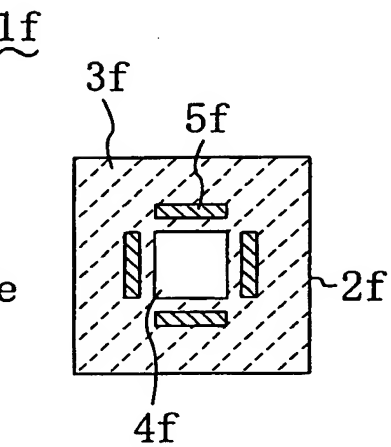
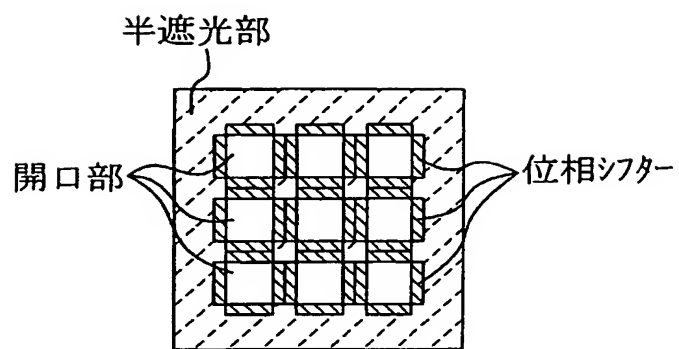


Fig. 9(f)



10/30

Fig. 10



11/30

Fig. 11 (a)

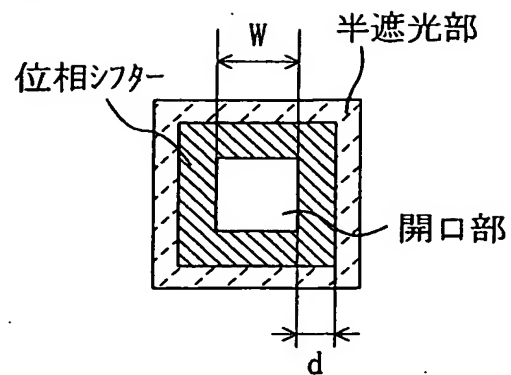
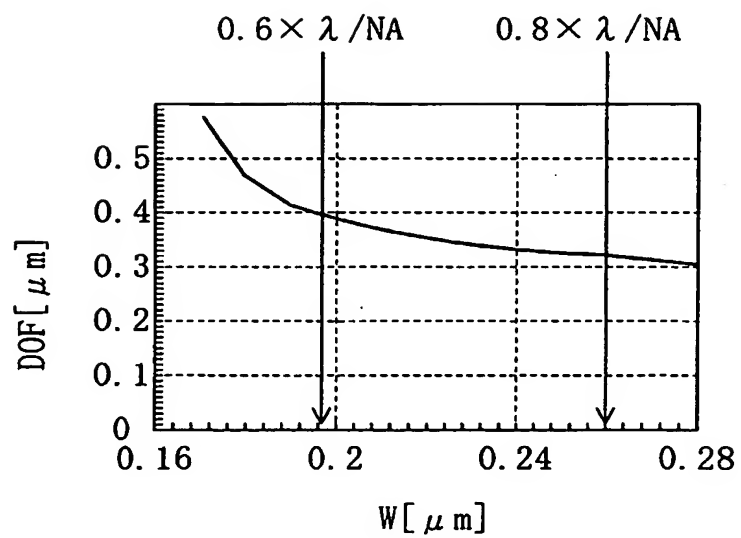


Fig. 11 (b)



12/30

Fig. 12

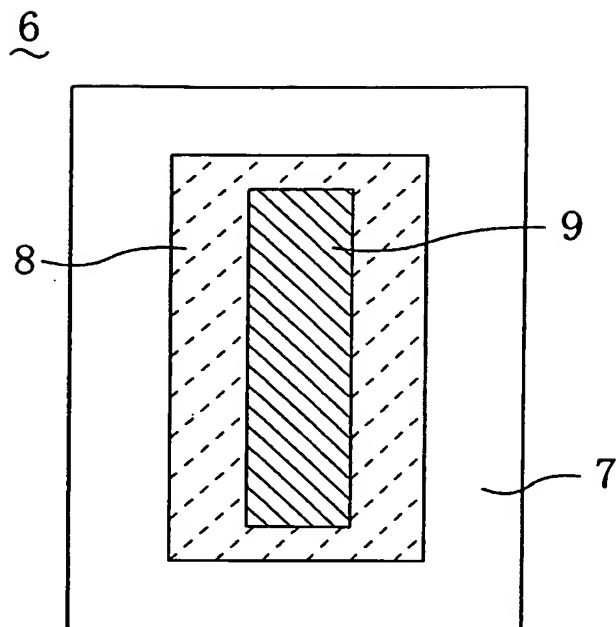


Fig. 13(a)

[イメージ強調マスク]

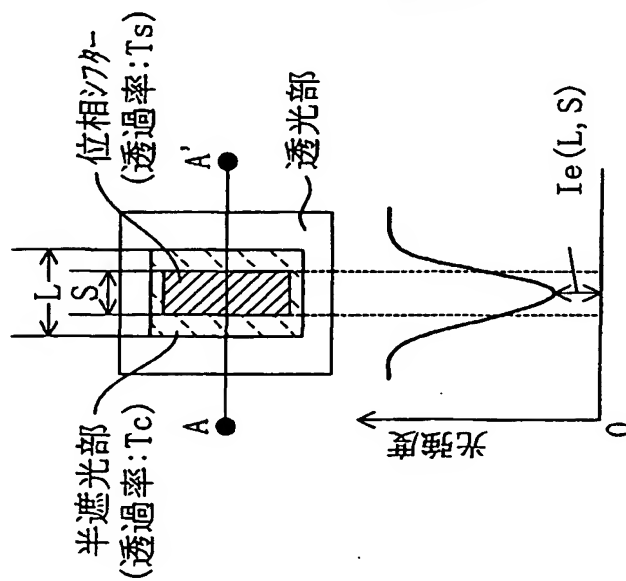


Fig. 13(b)

[半遮光パターン]

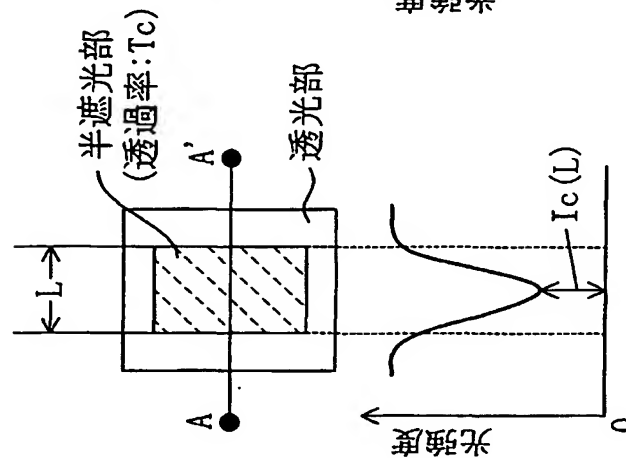


Fig. 13(c)

[位相シフトパターン]

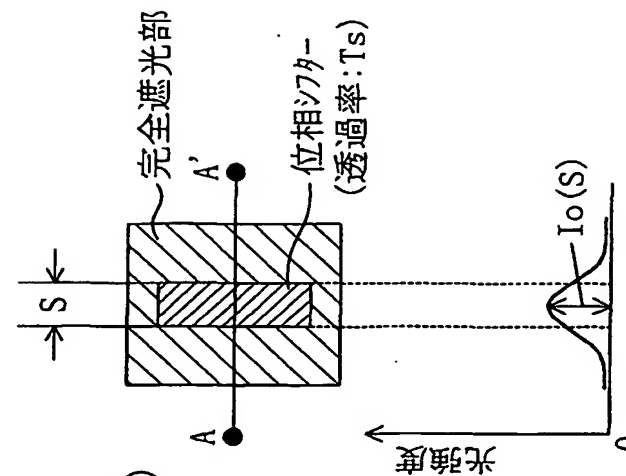


Fig. 14(a)

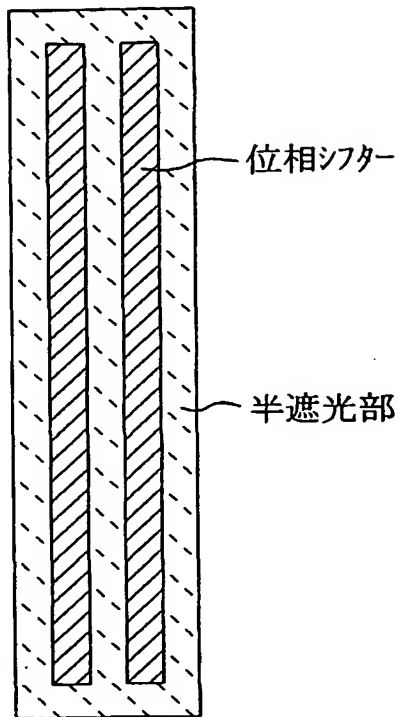
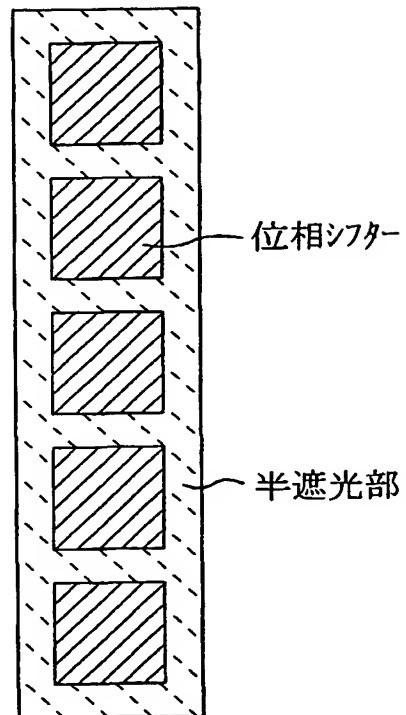


Fig. 14(b)



15/30

Fig. 15(a)

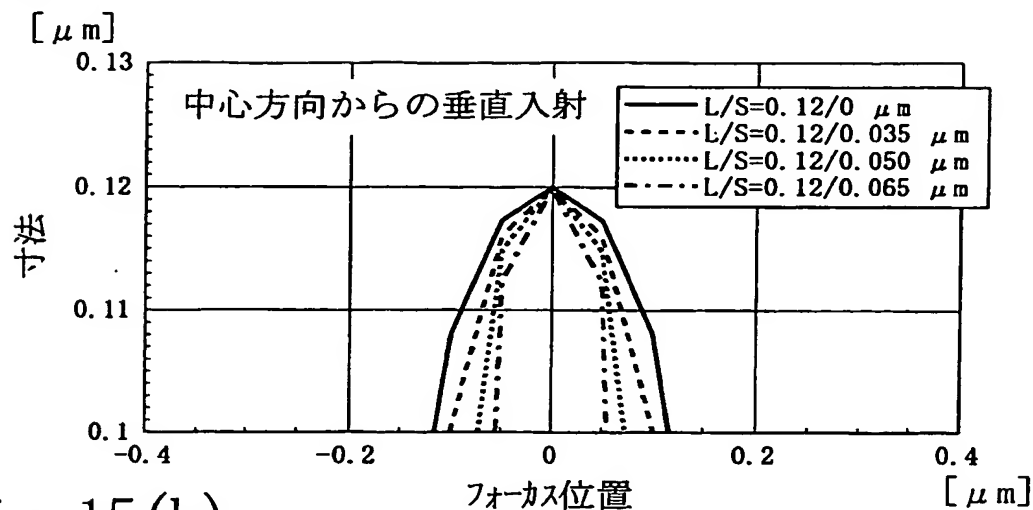


Fig. 15(b)

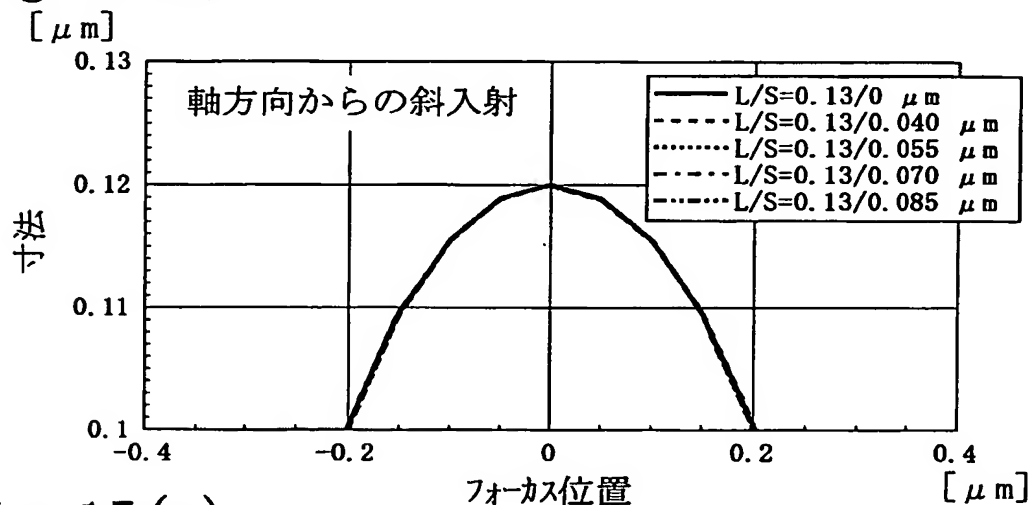
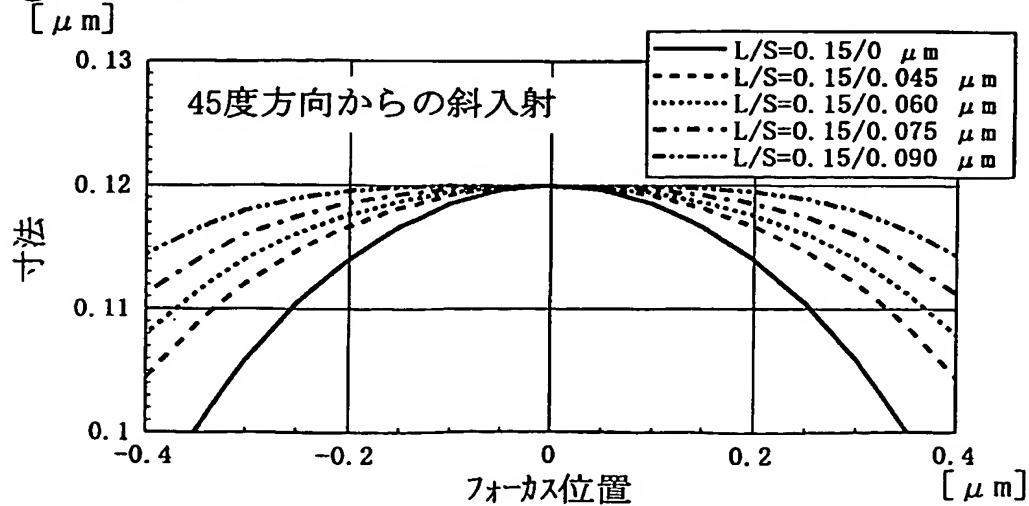


Fig. 15(c)



16/30

Fig. 16(a)

[半遮光パターン]

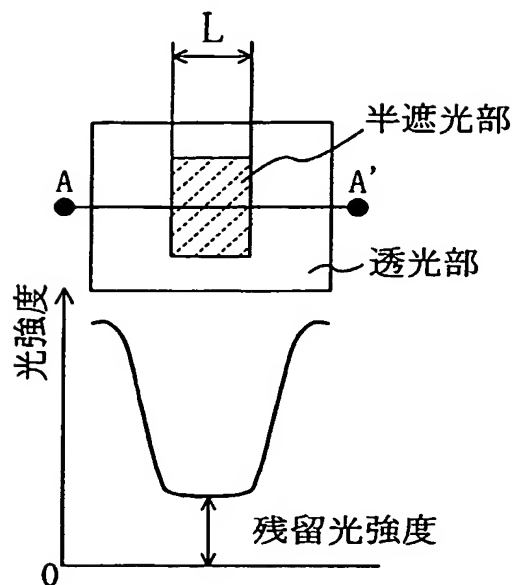
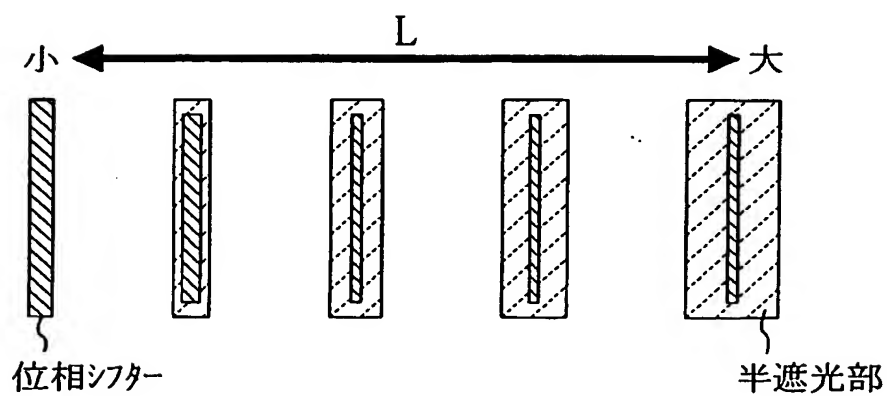
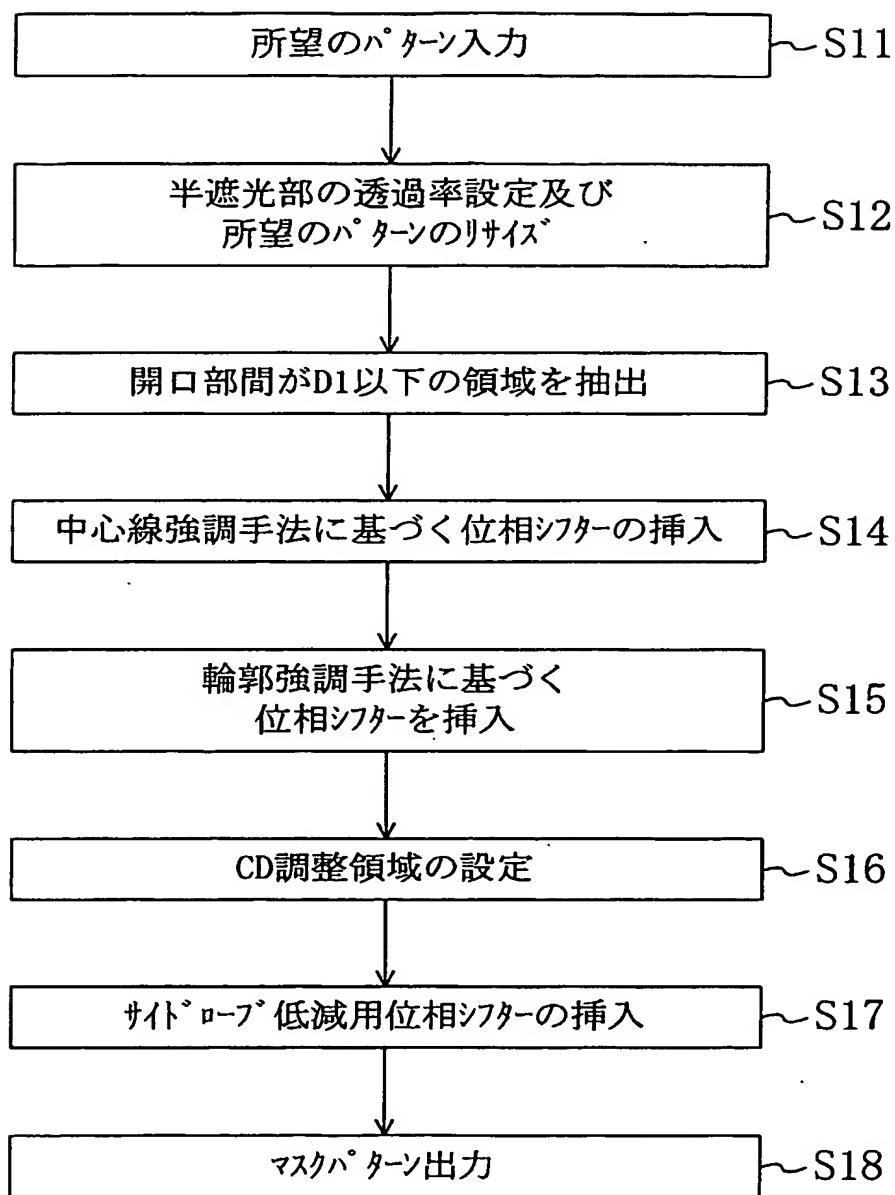


Fig. 16(b)



17/30

Fig. 17



18/30

Fig. 18(a)

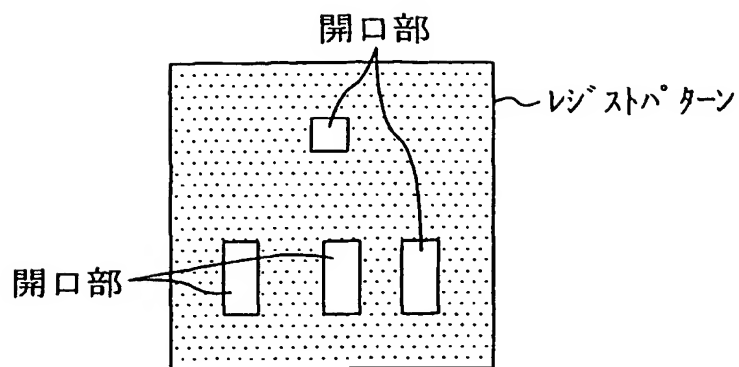


Fig. 18(b)

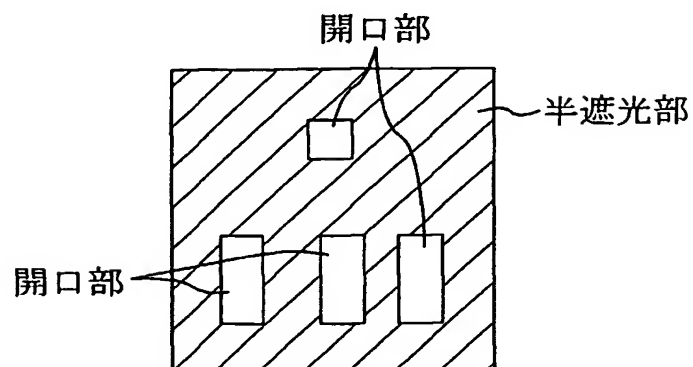


Fig. 18(c)

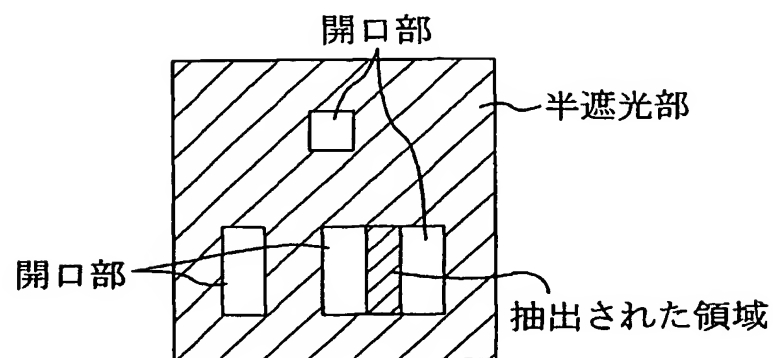


Fig. 18(d)

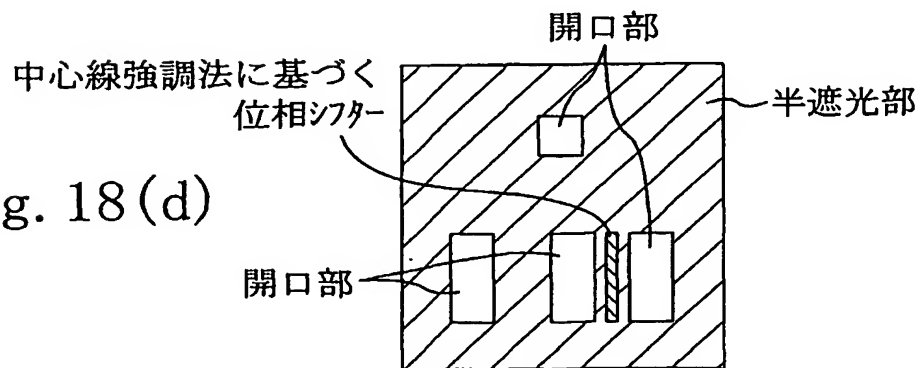


Fig. 19(a)

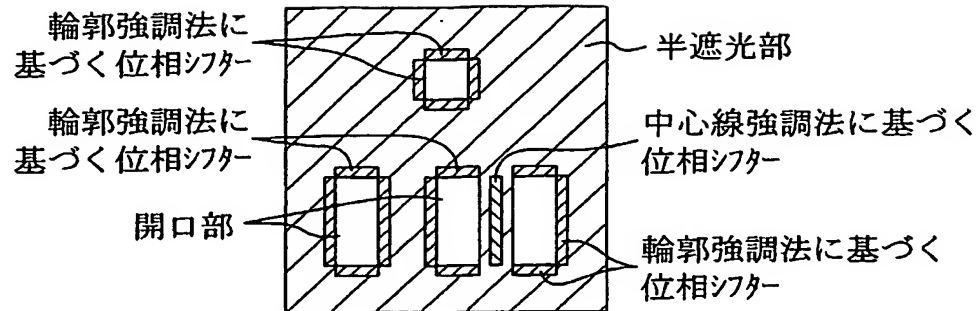


Fig. 19(b)

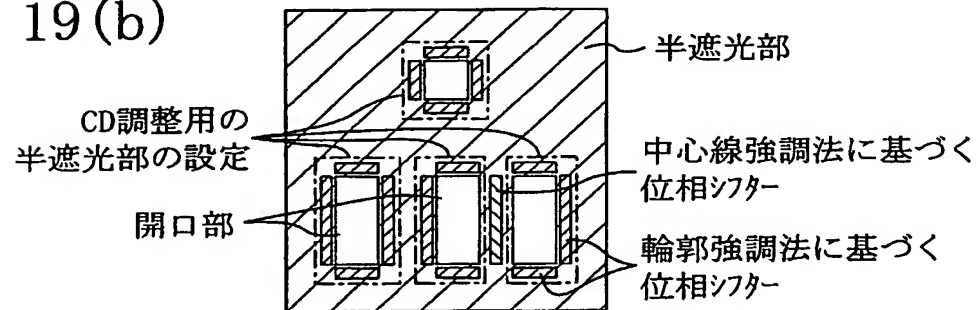


Fig. 19(c)

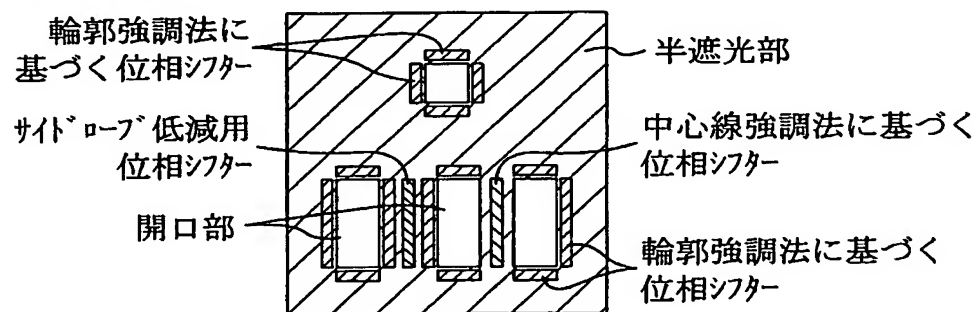
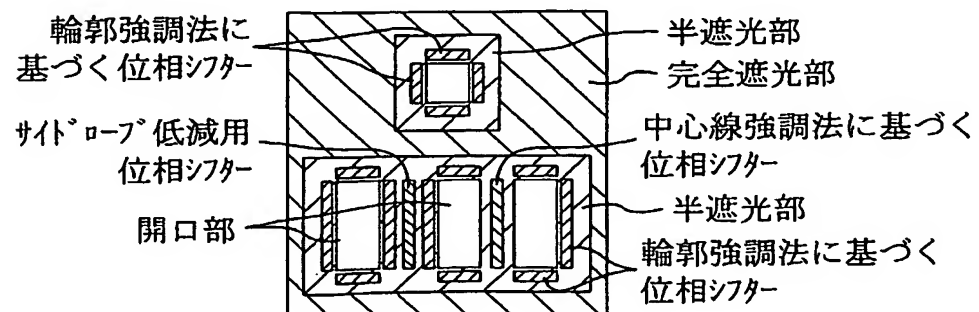


Fig. 19(d)



20/30

Fig. 20(a)

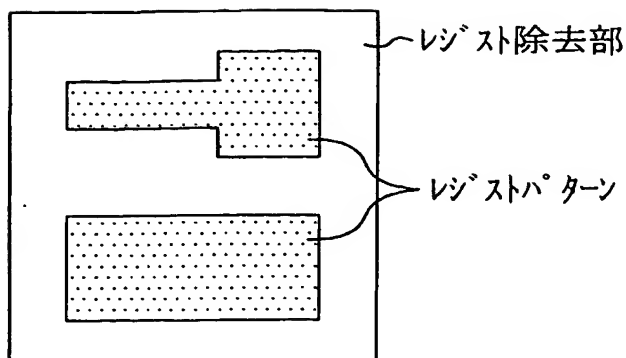


Fig. 20(b)

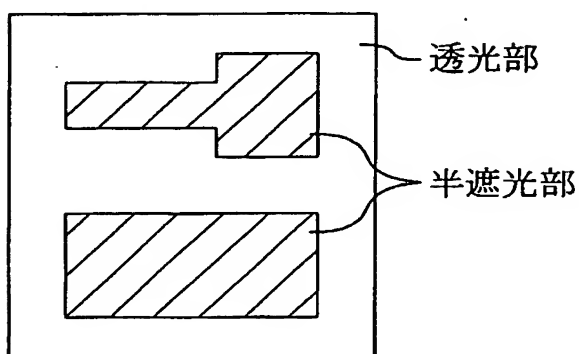


Fig. 20(c)

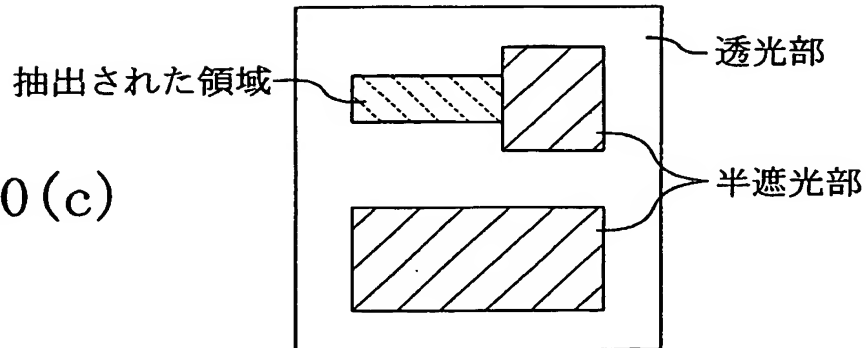
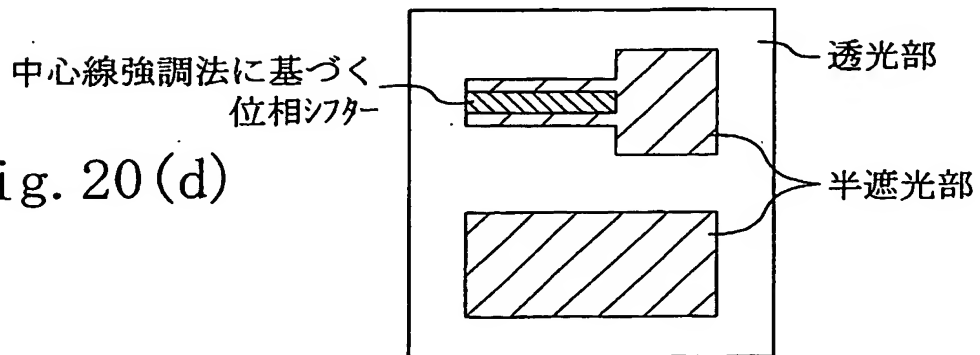


Fig. 20(d)



21/30

Fig. 21(a)

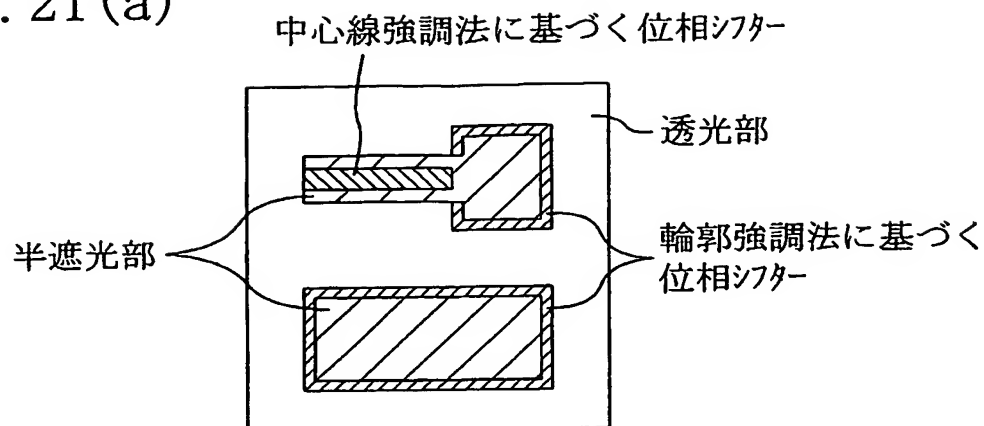


Fig. 21(b)

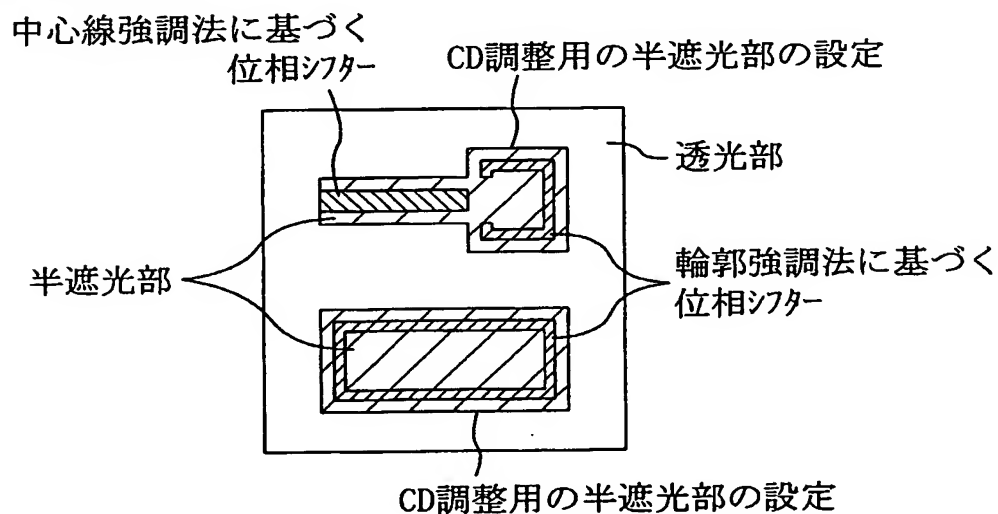
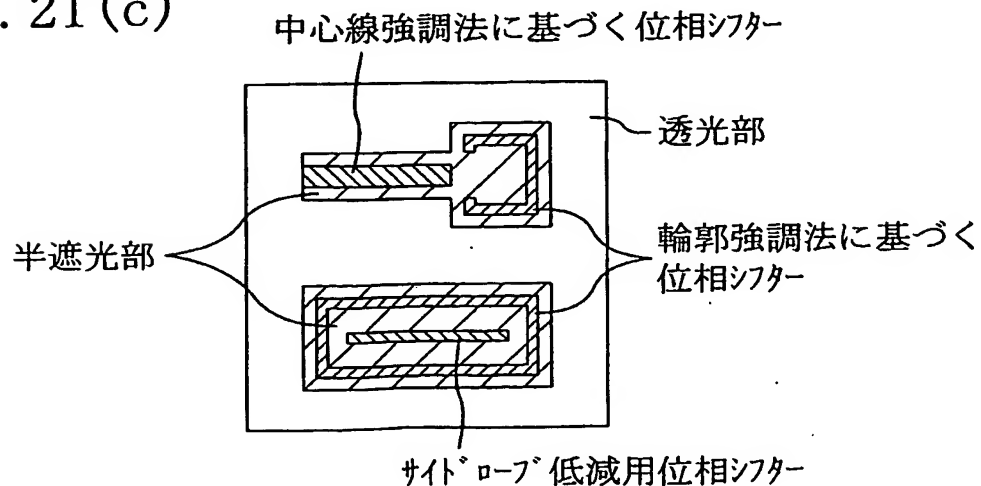
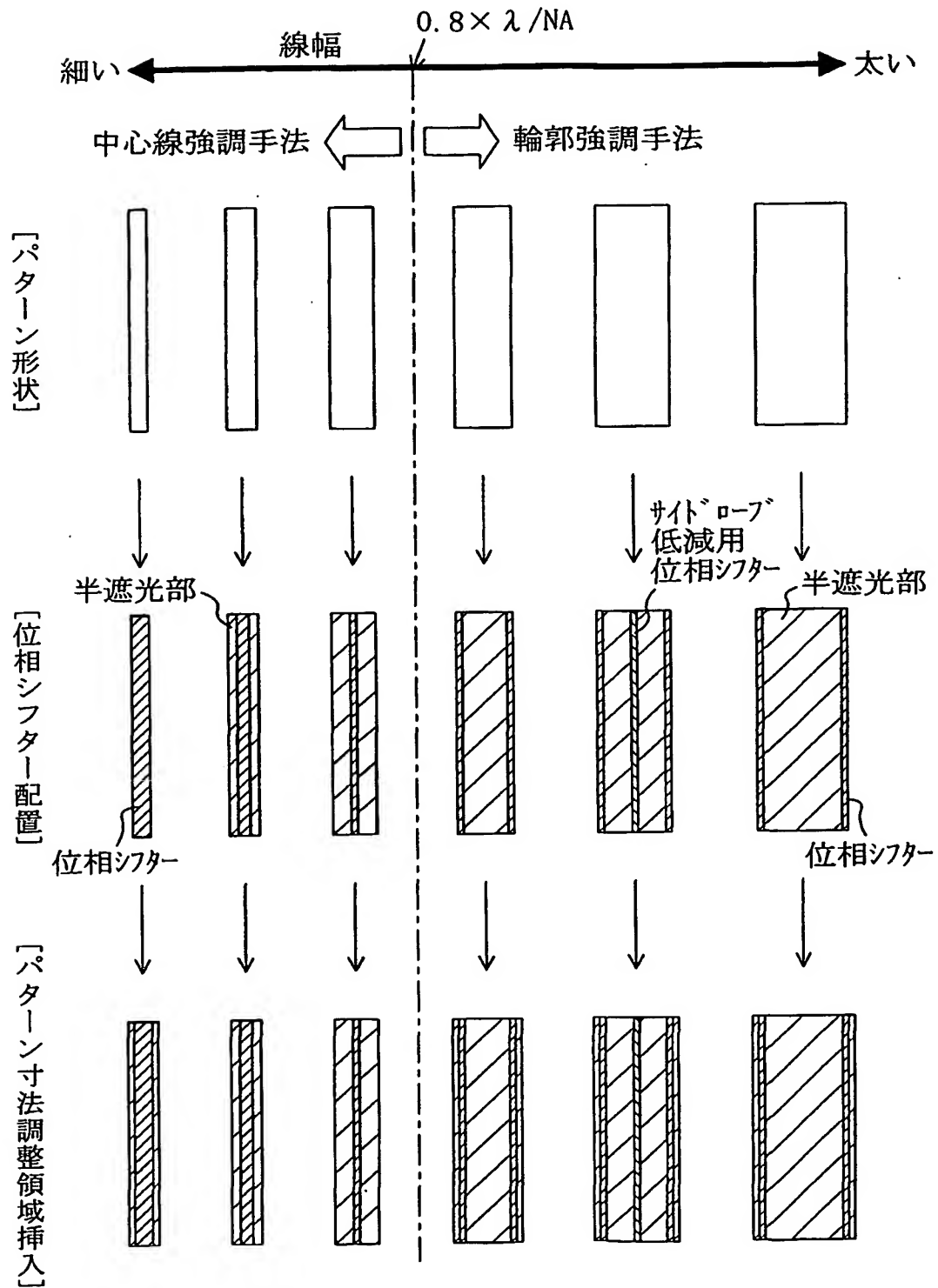


Fig. 21(c)



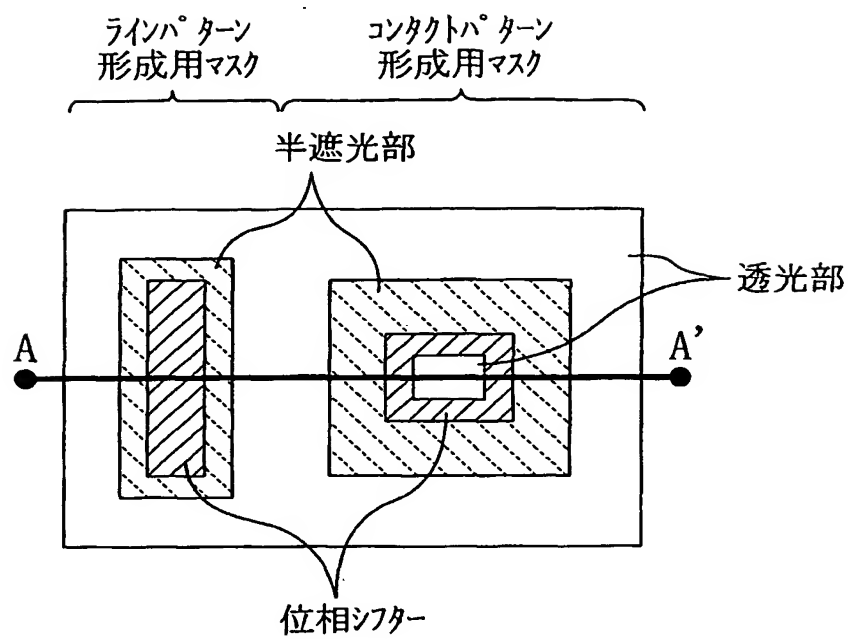
22/30

Fig. 22

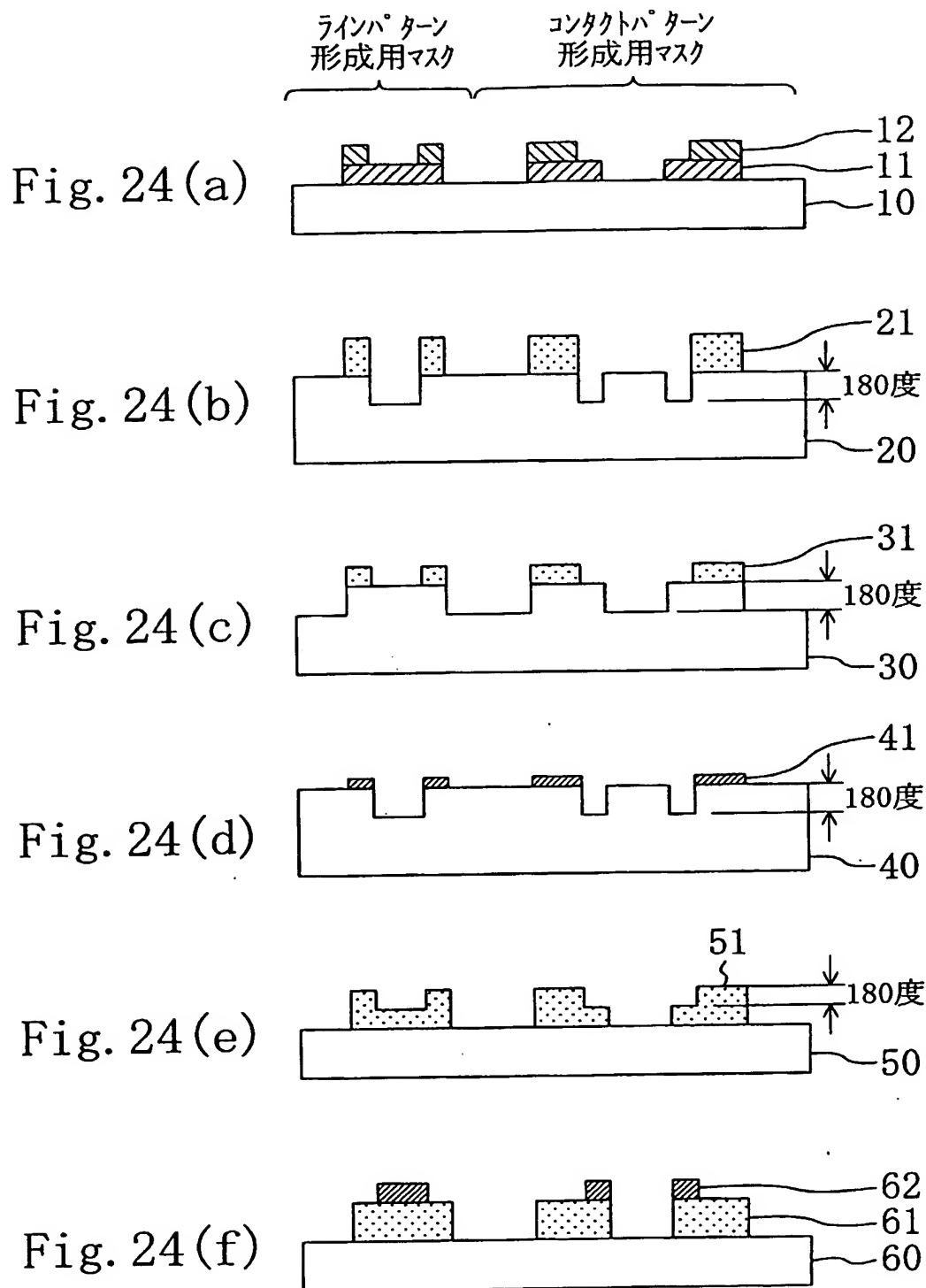


23/30

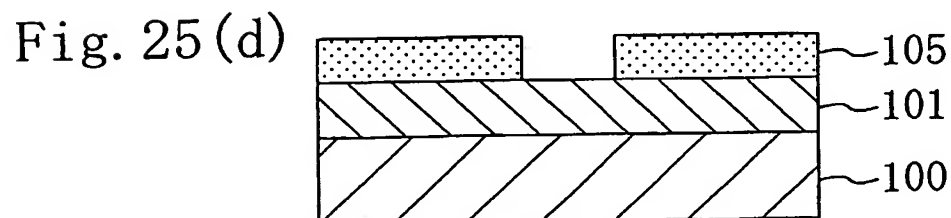
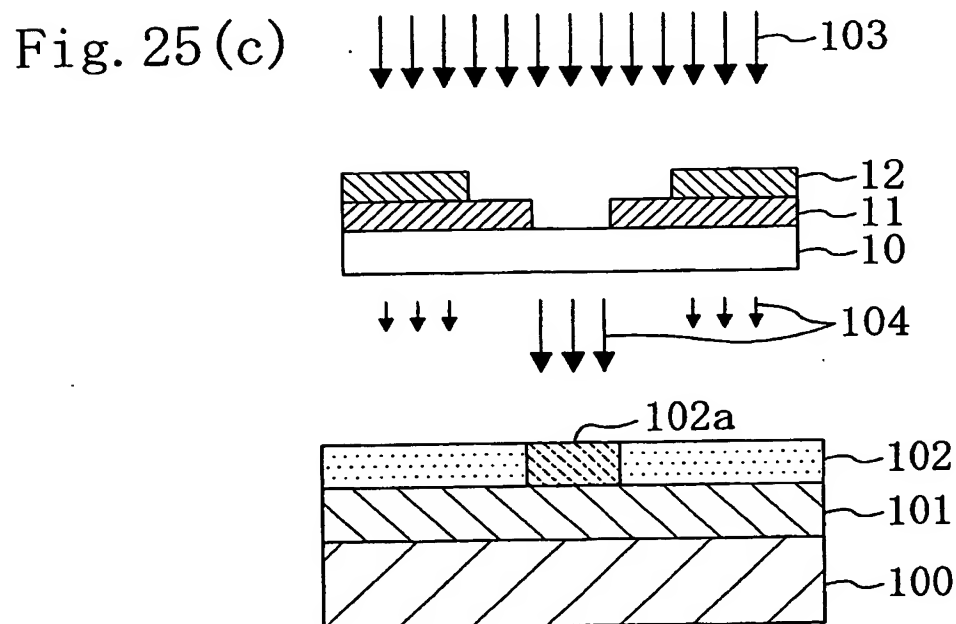
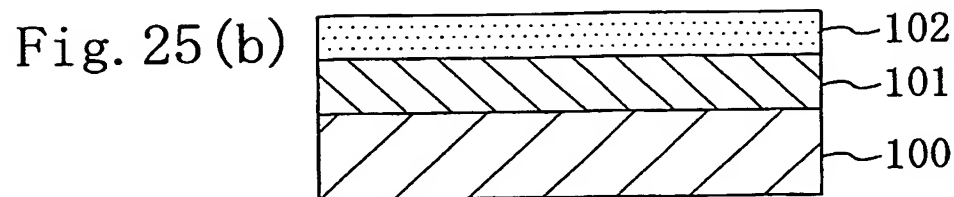
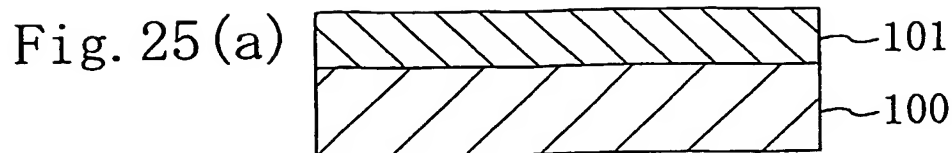
Fig. 23



24/30



25/30



[パターン形状]

[位相シフター配置]

Fig. 26(a)

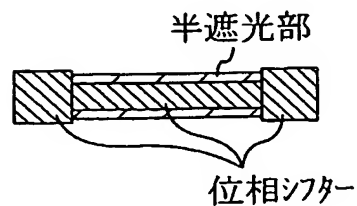
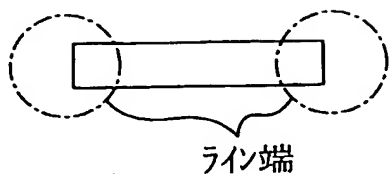


Fig. 26(b)

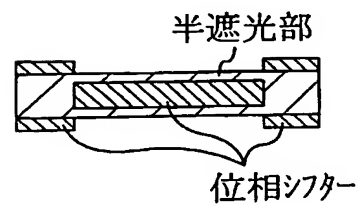
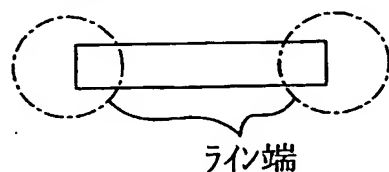


Fig. 26(c)

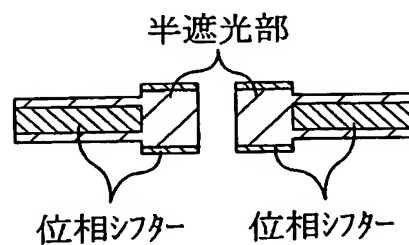
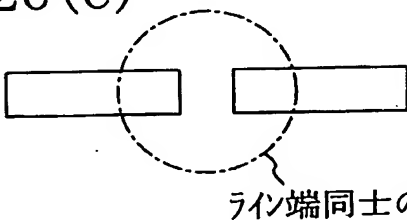
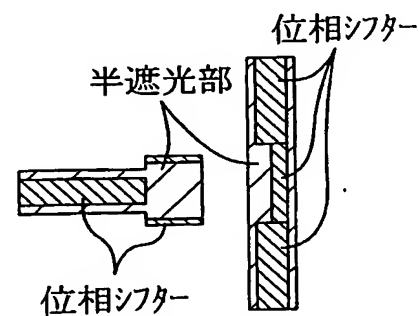
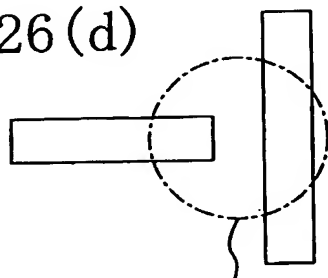
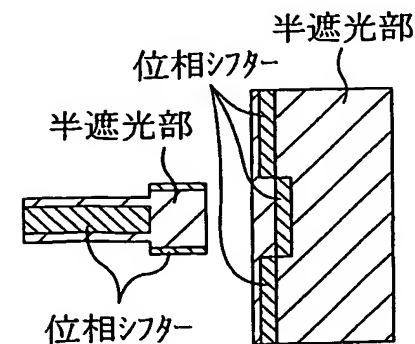
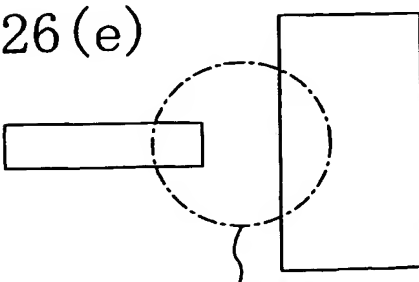


Fig. 26(d)



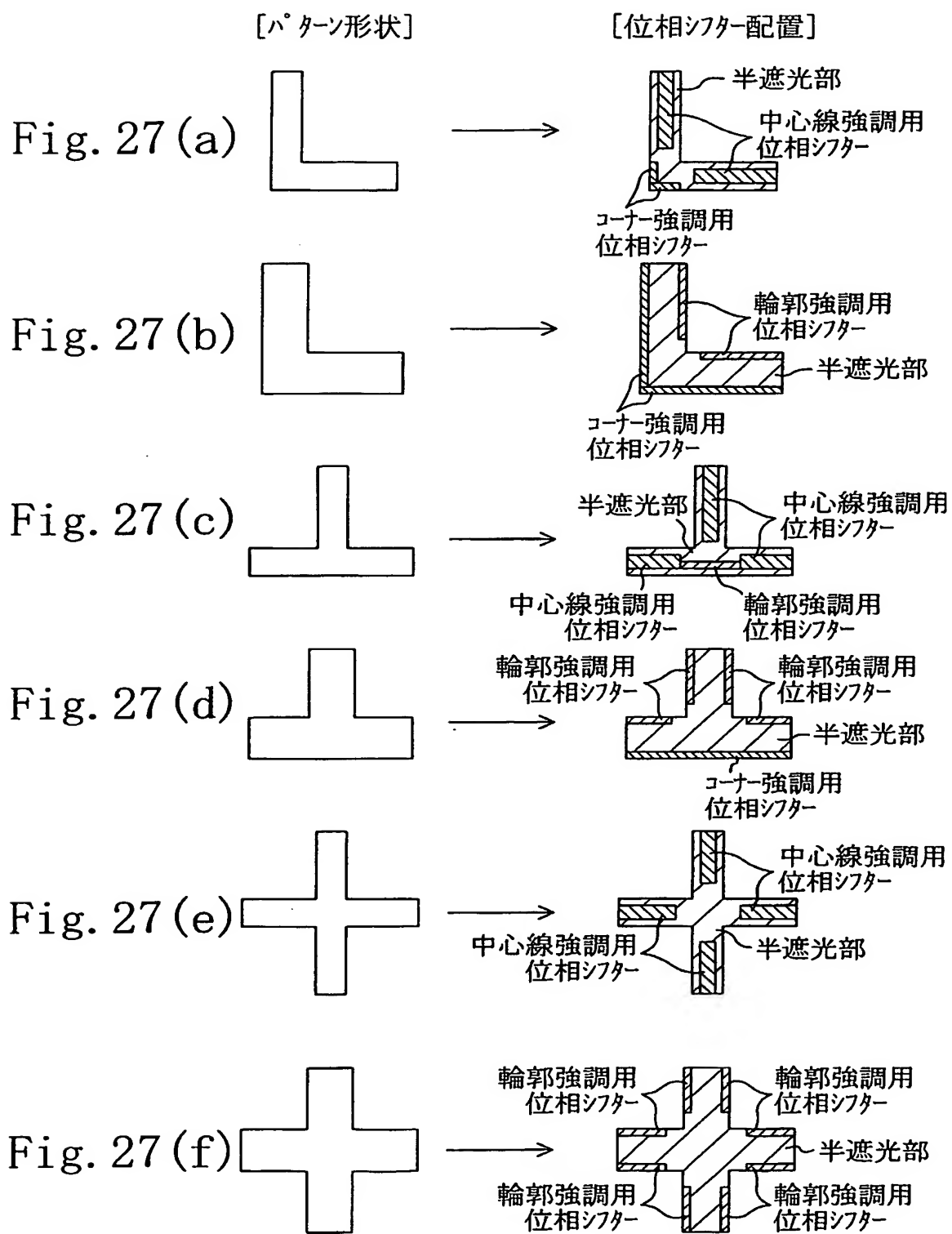
ライン端と細いラインパターンとの接近

Fig. 26(e)



ライン端と太いラインパターンとの接近

27/30



28/30

Fig. 28(a)

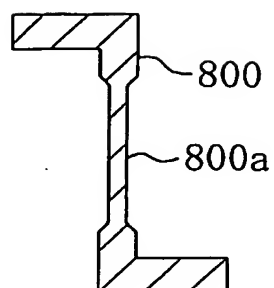


Fig. 28(b)

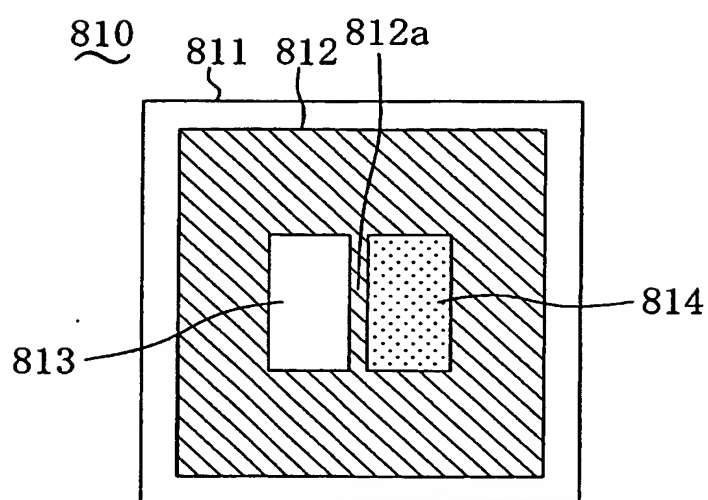
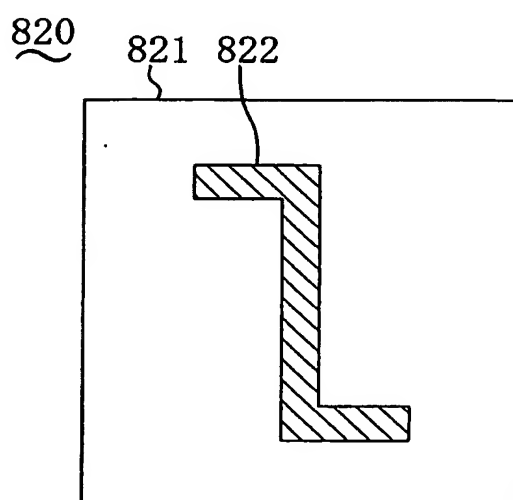


Fig. 28(c)



29/30

Fig. 29(a)

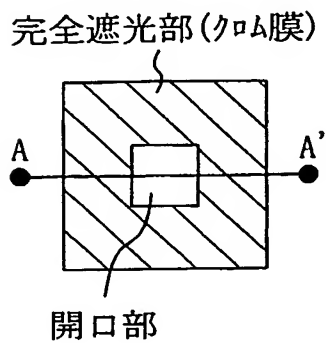


Fig. 29(b)

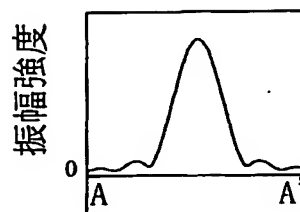


Fig. 29(c)

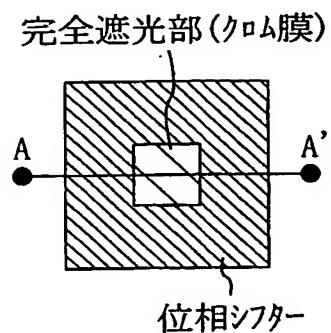


Fig. 29(d)

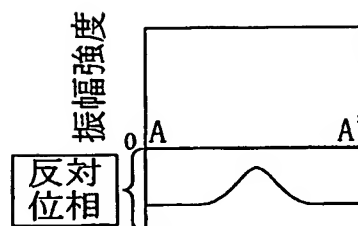


Fig. 29(e)

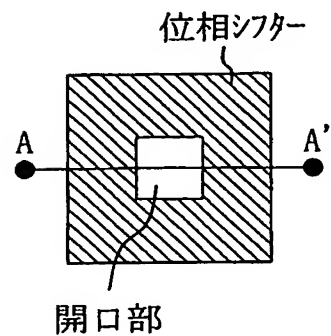
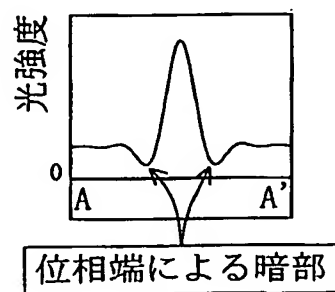
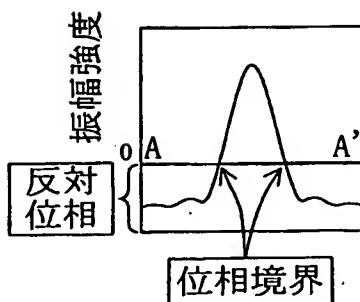


Fig. 29(f) Fig. 29(g)



30/30

Fig. 30 (a)
[通常露光光源]

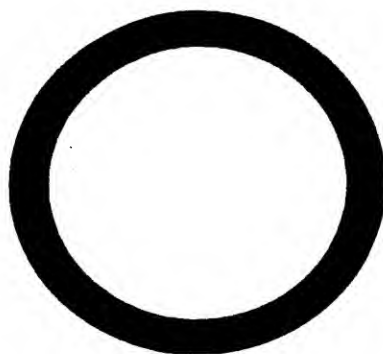


Fig. 30 (b)
[輪帶露光光源]

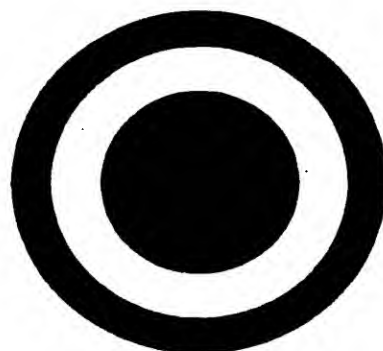
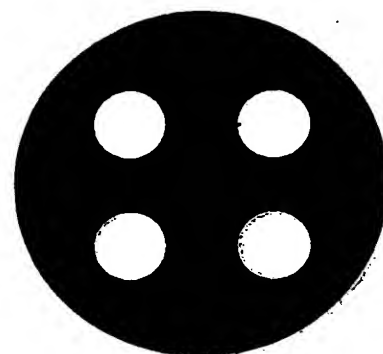


Fig. 30 (c)
[四重極露光光源]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/13466

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G03F1/08, H01L21/027

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G03F1/00-1/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 9-269590 A (NEC Corp.), 14 October, 1997 (14.10.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-4, 24, 25 5, 6 7-23, 26-39
X Y A	JP 10-48806 A (NEC Corp.), 20 February, 1998 (20.02.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-4, 7, 8, 24, 25 5, 6 9-23, 26-39
X Y A	JP 2000-19710 A (Hitachi, Ltd.), 21 January, 2000 (21.01.00), Claims; page 13, right column, line 1 to page 14, left column, line 20; Fig. 8 (Family: none)	1-4, 7, 8, 24, 25 5, 6 9-23, 39

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 April, 2003 (01.04.03)

Date of mailing of the international search report
20 May, 2003 (20.05.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/13466

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	US 6326107 B1 (Sharp Kabushiki Kaisha), 04 December, 2001 (04.12.01), Full text; all drawings & JP 2000-267255 A & TW 454255 A	1-4, 24, 25 5, 6 7-23, 26-39
Y A	JP 3-15845 A (Hitachi, Ltd.), 24 January, 1991 (24.01.91), Claim 1 (Family: none)	5, 6 10, 11, 13, 14, 17, 18, 22, 23
Y A	US 5302477 A (Intel Corp.), 12 April, 1994 (12.04.94), Column 7, lines 25 to 33 & JP 6-289594 A Column 8, lines 36 to 42 & GB 2269915 A	5, 6 10, 11, 13, 14, 17, 18, 22, 23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/13466

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claims 2-39, being dependent on claim 1, share a constitution described in claim 1.

However, the constitution described in claim 1 is found to be a well-known prior art. Therefore, since the constitution described in claim 1 is not a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, it is not common to all the claims.

In addition, the constitution described in claim 24 is also a well-known prior art. Therefore, the number of inventions in this international application is 19 as follows:

Claims 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9-11, 12-14, 15, 16-18, 19, 20, 21-23, 24, 25, 26-32, 33-39.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G03F1/08, H01L21/027

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G03F1/00-1/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 9-269590 A (日本電気株式会社) 1997. 10. 14 全文、全図	1-4, 24, 25
Y	(ファミリーなし)	5, 6
A		7-23, 26-39
X	J P 10-48806 A (日本電気株式会社) 全文、全図	1-4, 7, 8, 24,

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 04. 03

国際調査報告の発送日

20.05.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

伊藤 昌哉

2M

8808

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	(ファミリーなし)	25
Y		5, 6
A		9-23, 26-39
X	JP 2000-19710 A (株式会社日立製作所) 2000.01.21 特許請求の範囲, 第13頁右欄第1行-第14頁左欄第20行 , 第8図	1-4, 7, 8, 24, 25
Y	(ファミリーなし)	5, 6
A		9-23, 39
X	US 6326107 B1 (Sharp Kabushiki Kaisha) 2001.12.04 全文、全図	1-4, 24, 25
Y	&JP 2000-267255 A	5, 6
A	&TW 454255 A	7-23, 26-39
Y	JP 3-15845 A (株式会社日立製作所) 1991.01.24	5, 6
A	請求項1 (ファミリーなし)	10, 11, 13, 14, 17, 18, 22, 23
Y	US 5302477 A (Intel Corporation) 1994.04.12	5, 6
A	第7欄第25-33行 &JP 6-289594 A, 第8欄, 第36-42行 &GB 2269915 A	10, 11, 13, 14, 17, 18, 22, 23

第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲2～39は、すべて、請求の範囲1に従属するものであるから、請求の範囲1に記載された構成を共有している。

しかし、請求の範囲1に記載された構成は、従来から知られている先行技術であることが明らかになった。よって、請求の範囲1に記載された構成は、PCT規則13.2の第2文の意味において、特別な技術的特徴ではないから、請求の範囲全てに共通の事項はない。

また、請求の範囲24に記載された構成も、従来から知られている先行技術である。

よって、この国際出願の発明の数は、以下の通り、19である。

請求の範囲1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9-11, 12-14, 15, 16-18, 19, 20, 21-23, 24, 25, 26-32, 33-39

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。